В. Рыдник

Охотники за частицами

Издательство
„Детская литература"

SHOUT
SHARE
IT

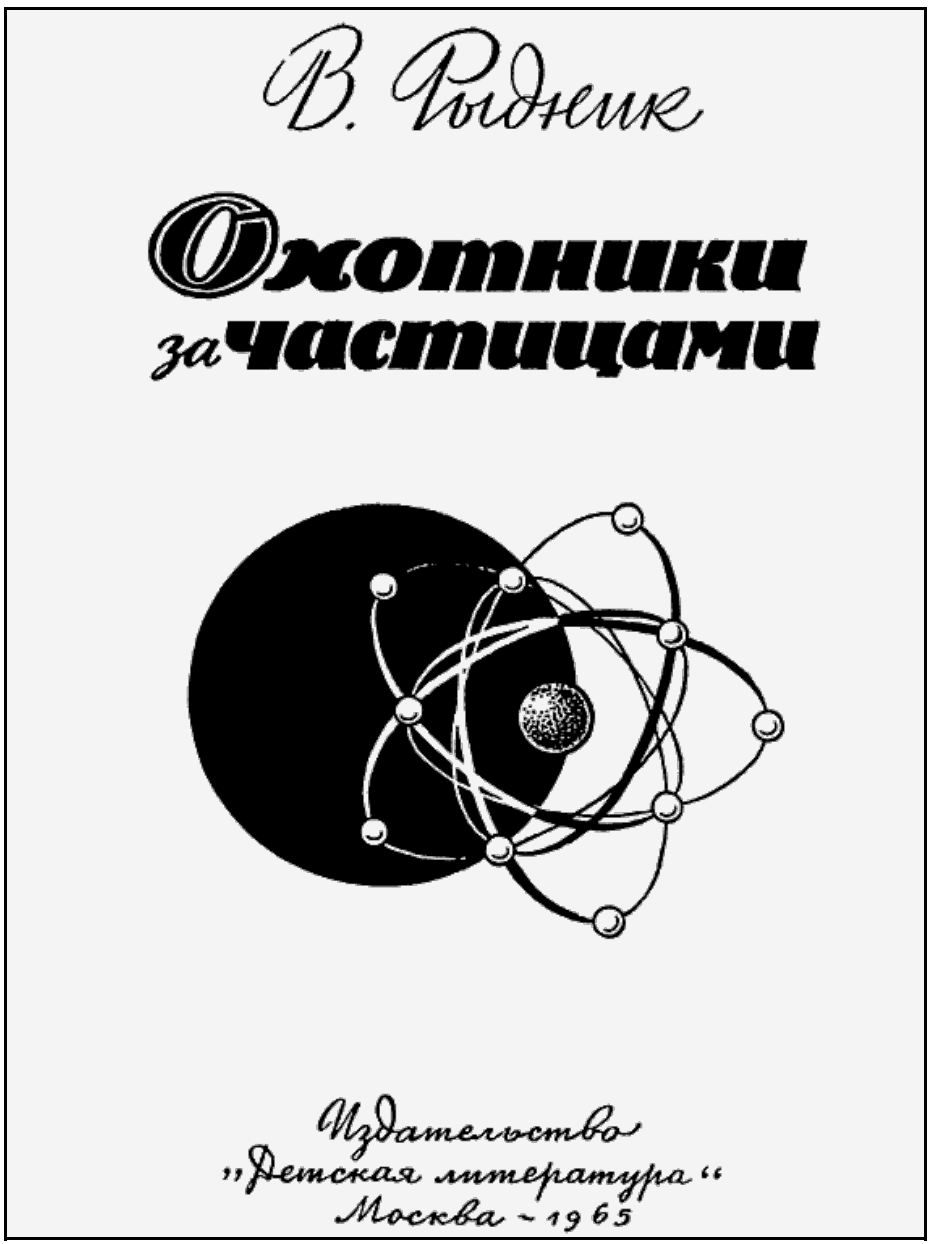
Annotation

В последние годы вышла на передний рубеж науки и начала бурно развиваться физика элементарных частиц. Она ставит перед собой самую дерзновенную цель — познать наиболее сокровенные тайны природы, познать законы, управляющие миром, который не увидишь ни в какие микроскопы. Одни из этих законов уже познаны. Другие — наиболее таинственные, а потому и самые важные — ждут своего открытия. Эти открытия неразрывно связаны с поиском новых частиц. В последние годы «охота» за частицами приняла неведомый до сих пор размах. Гигантские ускорители частиц до энергий в десятки миллионов электрон-вольт, хитроумные ловушки для частиц — таков арсенал оружия современных «охотников». В этой книге читатели познакомятся с историей открытия всех элементарных частиц, начиная с открытия электрона в 1896 году и кончая открытием омега-гиперона в 1964 году. Большое внимание уделено описанию современных теоретических представлений о мире сверхмалых частиц.

- Виталий Исаакович Рыдник
  - ○
  - ○
  - ○ Глава 1
  - ○ Глава 2
  - ○ Глава 3
  - ○ Глава 4
  - ○ Глава 5
  - ○ Глава 6
  - ○ Глава 7
  - ○ Глава 8
  - ○ Глава 9
  - ○ Заключение
  - ○
- notes
  - ○ 1
  - ○ 2
  - ○ 3

Виталий Исаакович Рыдник

Охотники за частицами



Рисунки Ю. Соболевского.

Крошечные фигурки, зажав в руках копья, подкрадываются к огромному мамонту… Безвестный художник за много тысяч лет до наших дней изобразил немеркнущими красками на камне самый обычный эпизод из жизни наших далеких предков.

Охота… Уже давно она перестала быть жизненной необходимостью для цивилизованных людей. Но дух охоты неистребим. Каждый год вместе с перелетными птицами снимаются с насиженных мест целые стаи охотников. Влекомые веселой жаждой приключений, они бегут в холодные и мокрые леса и луга.

И с каждым годом среди них все больше «чудаков», вооруженных не дальнобойными двустволками, а еще более дальнобойными фотоаппаратами и кинокамерами. Дух охоты уступает в этих людях еще более сильному духу любознательности.

В этой книге мы расскажем об охотниках за невидимыми и неслышимыми зверями — мельчайшими частицами материи. Эти люди — самые любознательные среди охотников науки.

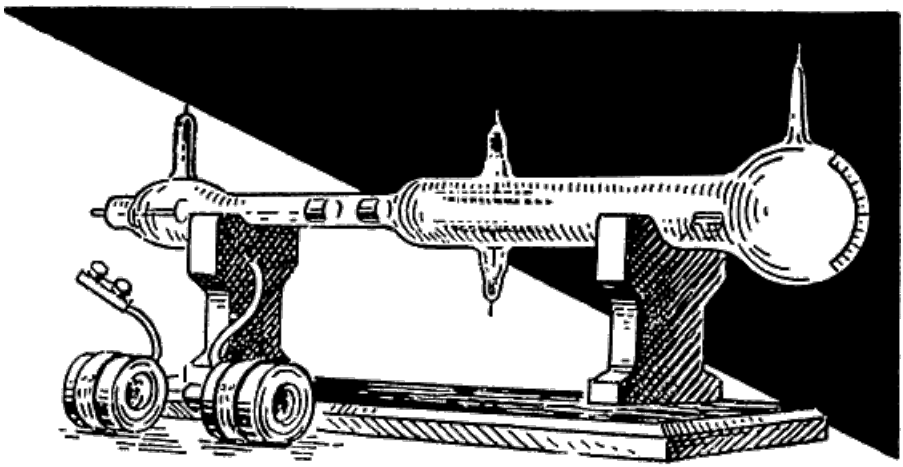
Долгое время охота велась в природном заповеднике этих частиц — в космических лучах. В последние годы охотники за частицами научились создавать искусственные заповедники. Охота пошла успешнее.

Сегодня ее трофеи насчитываются десятками. Кухня, на которой орудуют повара-теоретики, завалена свежей дичью. В адском дыму поразительных идей, в котором жарится эта дичь, повара готовят самое вкусное блюдо современной физики — единую теорию частиц.

Эта теория, возможно, принесет людям такие практические плоды, перед которыми поблекнут даже самые смелые предсказания сегодняшних фантастов. Эта теория наверняка откроет нам изначальные, самые фундаментальные свойства мира, в котором мы живем.

Как ведется самая трудная и сложная из охот, как ее трофеи складываются в единую картину мироздания, — этому и посвящена наша книга.

Глава 1
Вторжение в атом



Благодарность… лягушке

В Колтушах — маленьком городке под Ленинградом — стоит памятник собаке. Безымянной и бесконечно терпеливой собаке, которая помогла понять человеку, как он воспринимает окружающий мир.

Памятника лягушке нет нигде. Небольшое скользкое существо, вызывающее брезгливое чувство у многих людей, — и еще поставить ему памятник? Собака — друг человека, доказавший это не раз и не два. А скажите, пожалуйста, в чем лягушачьи заслуги?

У лягушки, однако, не меньшие, чем у собаки, заслуги перед наукой. Лягушка открыла людям первые секреты анатомии, кровообращения, работы мышц.

Но с наибольшими основаниями, думается мне, памятник безропотной лягушке должны были бы поставить физики. Почти два века назад страдающее подрагивание лягушачьей лапки возвестило начало новой эпохи в физике. Эпохи, которая продолжается и по сей день, — эпохи электричества и впоследствии — атома…

Конец восемнадцатого и начало девятнадцатого века —

удивительно интересное время. Под громоподобные звуки «Марсельезы», а затем под гром наполеоновских пушек перекраиваются не только границы государств. В лабораториях и тихих кабинетах «чудаковатых фантазеров» перекраиваются и границы наук.

Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта открывают электричество, с тем чтобы тут же начать неистовый спор о природе и происхождении его. В конце концов Вольта возносится на вершину славы, а поверженный его противник умирает полузабытым.

Но оба они еще застают появление малозаметной статьи малоизвестного ученого Уильяма Проута. В этой статье Проут возрождает из двухтысячелетнего небытия гипотезу об атомах.

Даже если бы Гальвани и Вольта с величайшим вниманием прочли эту статью, она не вызвала бы у них решительно никаких эмоций. Всему свое время.

Первые годы новой науки — словно первые разрозненные кристаллики, возникающие в безжизненно прозрачной жидкости. Должны пройти годы, пока они, разрастаясь, сольются в один большой магический кристалл нового знания. Долгие годы…

А пока что кристалл потихоньку растет. Еще в конце восемнадцатого века Александр Гумбольдт открывает электролиз. Жидкость, которая кажется такой сплошной и однородной, вдруг расщепляется на составные части под действием электрического тока! Спустя тридцать лет Фарадей устанавливает законы электролиза. Эрстед и Ампер, обнаружив взаимодействия токов и магнитов, первыми проникают в таинственную «душу магнита». И над этими замечательными работами Джемс Максвелл возводит стройный купол первой теории электромагнитных явлений.

Современники не всегда сразу оценивают по достоинству действительно крупные революционные физические теории. Так было и с теорией Ньютона о движениях тел, и с теорией Планка о квантах энергии, и с теорией относительности Эйнштейна, и со многими другими. Теория Максвелла среди них не исключение.

Еще двадцать лет спустя после ее появления знаменитый физик Людвиг Больцман, один из создателей молекулярной физики, читая лекции по теории Максвелла, начинал их словами из «Фауста» Гёте: «Я должен пот тяжелый лить, чтобы научить вас тому, чего сам не понимаю!»

И эти слова высказал один из проницательнейших физиков своего времени! Что же тогда говорить о других?

Другие физики в эти годы спокойно пробавлялись старым-престарым представлением об электрических жидкостях. Тепловой жидкости — флогистону — давно уже пришел конец.

Вслед за новаторскими работами Ломоносова все тепловые явления отлично объяснила молекулярная теория. Электрический же ток в представлениях многих ученых по-прежнему оставался потоком электрической жидкости.

Так нередко бывает в науке. В течение многих лет мирно сосуществуют друг другу противоречащие представления.

Разве что электрическая жидкость была двух родов — положительного и отрицательного. Об этом говорил уже неплохо изученный к тому времени электролиз.

Что в растворе? Молекулы жидкости, жидкости на сей раз обыкновенной. А отсюда уже как будто один шаг до «молекулы электричества». Но сколь он труден, — этот шаг!

И все-таки он делается. Как ни удивительно, помехой этому шагу служит сама теория Максвелла. В этой теории обладателем электромагнитных свойств объявляется не какая-то «молекула электричества», а особая, безраздельная, абсолютно текучая и непрерывная среда — эфир.

Эфир! Тончайший, неуловимый, начисто лишенный «грубых» материальных проявлений, вроде столь «земной» — массы. Эфир, не имеющий никакой структуры, не разложимый ни на какие отдельные частицы! И думать даже грешно о какой-то структуре самой неосязаемой субстанции на свете.

А думать приходится. В той же теории Максвелла на самый передний план выступают источники электромагнитного поля — электрические заряды и их движения, именуемые токами. Что кроется за этими понятиями? Какие предметы наделены таким свойством, как электрический заряд? Движение каких предметов вызывает электрический ток?

От «электрической молекулы» к «атому электричества»

Какие предметы? Можно допустить, что это молекулы. Что ж, пока такое допущение ни к чему не обязывает. Представлением о молекулах пронизана вся физика тех лет, и мысль об «электрической молекуле» с совершенной неизбежностью должна появиться.

Но, возражают скептики, молекулы ведь совершенно нейтральны электрически. В опытах по электричеству они обнаруживают себя лишь в том случае, если им сообщить заряд извне или отнять его. Тогда они получают название ионов и участвуют в явлении электролиза.

Сообщить заряд, отнять заряд… Это по-прежнему не решает вопроса о том, что же такое заряд. Словно посадили на молекулу какую-то неуловимую «метку» — и побежала молекула в электрическом поле, отняли — побежала в обратном направлении. Это явление говорит лишь только о движении молекулы, но никак не о метке. Нет, нет, и возражать не стоит! — заключают скептики.

И действительно, им почти никто не возражает. Электричество в самом деле кажется какой-то странной «накладкой» на обычные и привычные свойства вещества. Но может быть и другая возможность, полагает немецкий физик Вильгельм Вебер: «При всеобщем распространении электричества можно принять, что с каждым весомым атомом связан электрический атом».

Это сказано еще до завершения Максвеллом его теории. А вот и сам Максвелл скрепя сердце говорит такие знаменательные слова: «Назовем для краткости молекулярный заряд молекулой электричества; это выражение, как бы оно ни было несовершенно и как бы мало оно ни гармонировало с остальным содержанием нашей теории, все-таки поможет нам ясно высказать все, что мы знаем об электролизе».

«Электролиз требует», — Максвелл вынужден сделать признание. Но ученый все же не сдается. «Молекула электричества» — понятие несовершенное, неправильное, оно не удержится в науке. Когда мы по-настоящему познаем электролиз, от молекул электричества не останется и следа.

Ах, как он ошибается! Еще за год до смерти Максвелла голландский физик Гендрик Лоренц подводит под «эфирную» теорию более «весомый» базис. Молекула — это собрание мельчайших заряженных частичек. Заряды их одинаковы по величине, но могут быть противоположны по знаку. Так пишет Лоренц.

Неужели он «догадался»? Нет. До правильной догадки остается еще почти двадцать лет. Лоренц считает, что эти частички — ионы. Те самые ионы, которые, по его мнению, и объясняют удивительное поведение молекул при электролизе.

Но не будем придирчивы.

Согласитесь, что разбить молекулу на «атомы электричества» — мысль в те годы очень дерзкая. Лоренц не только не настаивает на этой мысли, но он словно извиняется за ее дерзость. Он считает ее в некотором смысле возвратом к старым представлениям о двух родах электрической жидкости.

Замечательно! Точно так же спустя двадцать лет Макс Планк будет извиняться за свое представление о квантах. Мол, понимаю,

что ввожу «неуклюжее», может быть, и совершенно «нелепое» новое представление. Единственное оправдание лишь в том, что с этим представлением, возможно, будет более удобно работать физикам.

Иной раз ученый, заклеванный своими научными противниками, быть может, и с радостью снял бы свое дерзкое представление. Но сие от него уже не зависит. Новая мысль высказана, она родилась, она уже отделилась от своего творца и зажила самостоятельной жизнью. Если жизнеспособно это зерно, брошенное на ниву науки, то оно рано или поздно прорастет. Рано или поздно — все зависит от того, насколько созрела нива для посева.

В те годы идея об атомности электричества словно носится в воздухе. Самые разнообразные явления сближаются друг с другом и требуют приведения их к единому знаменателю.

И новый парадокс!

На пути этой идеи высоким препятствием стоит сам атом. Вернее, представление о том, что слово «атом» следует понимать совершенно буквально: атом неделим.

Затем начинается время опытов. Школьных опытов, как вы сказали бы сегодня. Наука в наш век развивается быстро, технические ее приложения — и того быстрее. Сегодня вы без особого труда, даже порой со скукой во взоре, можете в школьном физическом кабинете ставить такие опыты, результатов которых с замиранием сердца ждали виднейшие ученые всего лишь век назад. И даже меньше, чем век назад.

Для них все было трудно. Например, вакуум. Чтобы изучить законы электрического разряда, в разрядной трубке нужно создать высокое разрежение. Газ в трубке, даже только следы его, — очень мешает. Стоит стегнуть газ электрическим током, и возникает невообразимая толчея молекул. В неоткачанной трубке — воздух. В воздухе — пары воды. Сегодня их одно количество, завтра влажность воздуха возросла — уже другое. Результаты опытов разнятся день ото дня. «Грязный опыт» — это понимали ученые и в те времена.

Стучит в лаборатории вакуумный насос, а то и — чего проще — прямо с завода получаете запаянные трубки с уже введенными в них металлическими пластинками — электродами. Присоединяйте трубки к источнику высокого напряжения, например к катушке Румкорфа, и работайте.

Век назад все это составляло проблему. Вакуум — невысокий, да и тот «течет». Вставили в трубку электроды — снова часами набирайте вакуум. А ведь, кроме электродов, нужны были еще и достаточно сильные магниты, сильные электрические поля.

А главное отличие вот в чем. Сегодня получили задание от преподавателя и проверяйте. А то, что вы сегодня проверяете спокойно, уверенные в том, что «все должно получиться», — ведь это век назад никому не было известно. Все, что потом вошло в учебники ровными грядками слов и формул, искалось впотьмах. Каждую мелочь надо было проверять стократно! Не говоря уже о более существенных чертах изучаемых явлений.

Газ из трубки наконец в достаточной мере выкачан. Ртутный столбик манометра опустился почти до самого предела — $^1/_{10}$ миллиметра. Включается напряжение, и… стенки трубки вдруг начинают светиться. По мере откачки газа цвет свечения меняется — от слабого красноватого до яркого желто-зеленого. Отчего? Непонятно.

«Изменим вещество электродов», — думает исследователь. Начинается новая длинная серия опытов. Нужно у себя же в лаборатории переплавить и очистить полученный металл, изготовить из него электроды тех же размеров и формы, впаять их в трубку из того же стекла, откачать воздух до того же давления… и убедиться в том, что все это ничего не изменило!

Ученый подносит магнит к трубке. Подносит так, из любопытства, ничего не ожидая. Свечение смещается по стенке трубки. Проверяется еще раз — снова свечение ползет за магнитом.

Что бы это могло быть? Видимо, в трубке появилась какая-то электрическая субстанция, какой-то ток. (Действие магнита на провод с током уже известно со времен Фарадея.) «Лучистая субстанция» вызывает свечение всюду, куда проникает.

А как эта «субстанция» движется? Исследователь, зовут его Уильям Крукс, вводит в трубку на пути предполагаемых лучей препятствие — металлический крест. И сразу же на задней стенке трубки появляется четкая тень креста. Это может означать одно: «субстанция» движется прямолинейно наподобие того, как распространяется свет.

Следующий опыт — его спустя пять лет ставит известный немецкий физик Генрих Герц. Тот самый Герц, который получил впервые электромагнитные волны и изобрел первую антенну. «Субстанция» Крукса отклоняется магнитом. «Значит, — думает Герц, — на нее должно действовать и электрическое поле. Это надо проверить». Герц изготовляет конденсатор и помещает его на пути «лучистой субстанции». Включается напряжение — и никакого эффекта!

Потрясающее разочарование. «Субстанция» оказывается незаряженной. «Это не электричество. Это волны эфира», — заключает Герц. То, что на них действует магнит, доказывает

лишь, что все не так просто. И Герц начинает работать над своей теорией эфирных волн. Хотя он и ошибается, ошибка его благотворна для науки. Так бывало не раз. Ведь эфирные волны — это те самые радиоволны, которым несколько лет спустя Александр Степанович Попов даст новую замечательную жизнь.

А то, что Герц ошибается, доказано было еще за три года до его опытов. Евгений Гольдштейн, тоже не обнаружив влияния электрического поля на круксову «субстанцию», сделал хитроумный маневр. Он расположил в трубке возле источника «субстанции» — катода — второй катод. А анод сделал в виде узенькой пластины. И включил для начала только один катод.

Все шло нормально, как и в сотнях опытов до него. «Субстанция» достигла анода, и приборы в электрической цепи отметили появление тока. Но стоило включить второй катод, и ток резко падал, словно что-то сбивало «субстанцию» в сторону от анода. Этим могла быть лишь та же «субстанция» из второго катода. Гольдштейну пришлось заключить, что два потока «субстанции» отталкивают друг друга. Отсюда несомненно вытекало, что оба потока электрически заряжены, причем заряжены одноименным электричеством.

Сейчас мы можем легко понять причину неудачи Герца. Слишком плох был у него вакуум. Слишком слабыми оказались его электрические поля. А вот взаимные поля двух пучков «субстанций» в опытах Гольдштейна были уже достаточно сильны.

На стороне Гольдштейна были результаты еще одного важного опыта, который провел в 1895 году французский физик Жан Перрен. Он решил определить знак заряда потоков «субстанций». Опыт был не из легких, но в основе его лежала та самая идея, с которой вы в школе начинаете изучать электричество.

Электроскоп! Тот самый электроскоп, листочки которого сигнализируют о заряде, перешедшем на шарик с бузиновой или стеклянной палочки.

Перрен поместил в разрядную трубку металлический цилиндр «без дна и покрышки» как раз так, чтобы через него проходил поток «субстанции». Тонкая проволочка от этого цилиндра — его придумал неистощимый Фарадей — выходила через трубку и присоединялась к электроскопу, который уже был заряжен положительно.

Вот и вся установка. «Дешево и сердито!» — как сказал бы наш современник. И через пять минут после начала опыта, когда было включено напряжение и через цилиндр хлынули потоки «лучистой субстанции», Перрен уже знал, что она заряжена,

причем заряжена отрицательным электричеством.

…Так растут, сливаются друг с другом отдельные кристаллики нового знания. Еще одно открытие — и все они сольются в единый монолитный кристалл. Этот заключительный шаг делает английский физик Джозеф Джон Томсон.

Рождение электрона

…Тихий университетский городок неподалеку от Лондона. Низенькие, построенные еще в средневековую старину здания. Размеренный, словно навеки заведенный, уклад жизни. И при всем при том не много городов знает такое жаркое кипение научных страстей, такое количество крупнейших открытий, какое было сделано в этом городе.

В десять часов вечера городок укладывается спать. Лишь в немногих окнах допоздна горит свет. Горит он и в окне квартиры скромного университетского профессора физики Томсона. Подытоживаются результаты дня, обрабатываются результаты опыта, лист за листом заполняются неровными строчками формул и цифр.

Это не качественный опыт Перрена или Крукса. Результаты опыта требуют солидной обработки математикой. И окончательные цифры странны, очень странны…

Кембридж. Здесь на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков Джозеф Джон Томсон открывает электрон…

Все началось с повторения опытов Крукса, Перрена и Герца. Необъяснимое противоречие между действием на «лучистую субстанцию» магнитного и электрического полей все же требовало окончательного разъяснения.

Скорее всего, думает Томсон, это противоречие могло быть связано с тем, что опыты предшественников были «грязными». Почему не допустить, что после откачки в сосуде все еще оставалось большое количество газа? Можно предположить, что это газ каким-либо образом экранирует приложенное к «субстанции» электрическое поле.

А для этого есть основания. «Лучистая субстанция», проходя через газ, оставляет за собой «попорченные» молекулы газа. В самом деле, ионизация газа в этих условиях уже наблюдалась не раз. В результате возникает — чем не электролит? Положительные ионы бегут к отрицательной пластине конденсатора, отрицательные ионы — к положительной. Вокруг

«субстанции» образуется словно защитный чехол, в который электрическое поле проникает только сильно ослабленным.

Убрать нужно «грязь»! Откачивать, откачивать газ, сутками, неделями, если понадобится! Устранить все течи! А молекулы газа, пытающиеся при откачке осесть на стенках и электродах трубки, снова и снова вспугивать с их мест электрическими разрядами! Пусть вакуум в камере станет таким, чтоб манометр встал на пределе.

Такая «тренировка» трубки, как мы бы назвали ее сегодня, в конце концов дает свои плоды. Действие электрического поля на «субстанцию» становится все более отчетливым. «Лучистая субстанция» заряжена. Можно попытаться определить ее заряд уже не только по знаку, а и по его величине.

И Томсон придумывает, как это сделать. Он изобретает метод, который и поныне, спустя более чем полвека, является одним из наиболее могучих в экспериментальной физике. Его стоит описать.

«Лучистая субстанция» — неважно сейчас, из чего она состоит, — отклоняется и в магнитном и в электрическом поле. Если угодно, эти поля — как бы боковой ветер, дующий на бегуна. Можно оба ветра направить так, чтобы они дули на бегуна в противоположных направлениях — слева и справа. Уравняем силу этих ветров — тогда бегун понесется по прямой линии. И судья на финише флажком (электрическим током в цепи анода) отметит его появление. Замерим при этом силу обоих ветров (а в физическом опыте — это напряженности электрического и магнитного полей). Отсюда по несложной формуле можно определить скорость бегуна (электрона).

А теперь начинается вторая, самая интересная часть опыта. Начнем увеличивать силу одного из ветров — бегун начнет сбиваться с пути вбок. Судью с флажком все время придется перетаскивать к месту нового финиша. Наш бегун уже бежит по кривой дорожке, и чем сильнее один из ветров, тем сильнее искривляется путь бегуна.

По какой дорожке теперь несется бегун? Оказывается, по окружности. Места его старта и финиша известны. Сила сбивающих ветров тоже известна. Без труда находится радиус беговой дорожки, а из его величины — отношение заряда к массе бегуна.

Большего опыт дать не может. Определить в нем порознь массу и заряд «лучистой субстанции» невозможно.

Но не спешите разочаровываться. Иной раз и косвенное измерение дает не менее ошеломляющий результат, чем самое прямое! А в этом измерении есть нечто ошеломляющее. Оно дает

результат: отношение заряда к массе составляет для «лучистой субстанции» величину порядка десяти миллионов.

Вам непонятно, что из этого следует? Томсону тоже непонятно, но другое: как может получиться такое отношение, если для легчайшего из атомов — атома водорода — при электролизе это отношение в тысячу раз меньше. Это означает не более и не менее, что частицы «лучистой субстанции» в добрую тысячу раз легче самого легкого атома на свете. Это не лоренцовы ионы!

Вы в это можете поверить легко. А каково было Томсону? Снова и снова опыты — и опять те же цифры. Вместо накаленной алюминиевой проволочки на катод ставится медная, золотая, бронзовая, наконец, платиновая — все тот же результат. Трубка из одного стекла заменяется трубкой из другого сорта стекла — все остается по-прежнему. Наконец, накаленная металлическая нить заменяется пластинкой, облучаемой светом, — и снова отношение заряда к массе частичек «лучистой субстанции» оказывается все тем же.

Вот это и есть упрямство факта. Томсон вынужден, и с превеликой неохотой, уступить этому упрямству. С неизбежностью приходится заключить, что:

атомы отныне нельзя считать неделимыми;

из них можно вырвать отрицательно заряженные частицы под действием электрических сил, нагревания и облучения светом;

эти частицы все имеют одинаковую массу;

они несут одинаковый заряд, от каких бы атомов ни происходили;

они являются составными частями всех атомов;

масса этих частиц меньше, чем одна тысячная часть массы атома водорода.

Эти слова были произнесены Томсоном 29 апреля 1897 года на заседании Королевского института в Лондоне.

Томсон вначале назвал открытые им частицы «корпускулами» — самым невыразительным словом, которое только можно придумать! Ведь по-латыни оно лишь означает «частицы». В его оправдание можно сказать только то, что спустя три года Планк назвал открытые им «частицы» энергии столь же невыразительно — «квантами» (а это на той же латыни означает не более, как «количество»).

Но не в названиях дело. Тем более, что уже вскоре Томсон «поправился» и дал своему открытию имя, предложенное за четверть века до того ирландским физиком Стони, — «электрон». И это имя сразу прочно вошло в обиход всей последующей физики.

Продолжение следует

Один философ как-то назвал открытие «венцом любопытства». Согласиться с ним трудно. Ученый, сделав открытие, редко догадывается в ту же минуту о его истинном значении. Напротив, ученый весь во власти сомнений.

Не пал ли он жертвой неверного хода мыслей? Правильно, корректно ли, как говорят, поставлены опыты, проведены расчеты? А что дальше? Какие неожиданные миры открываются за дверью, на миг приоткрывшейся перед исследователем? Страшиться, однако, нет времени. Все чувства подчиняет себе — вот только теперь развернувшееся во всю силу — жадное любопытство. Только теперь начинается лихорадка открытия.

Нет, настоящий ученый не боится, что его кто-то обгонит. Да и кого бояться? Пока что он один на бескрайних туманных просторах нового мира, и даже его ближайшие соратники не торопятся следовать за ним. До тех пор, пока в этом мире не нащупана твердая почва, они предпочитают лишь сочувственно наблюдать за лихорадочными поисками первооткрывателя.

А вокруг тем временем идет работа. В том же 1897 году Чарлз Вильсон делает открытие, что на газовых ионах очень активно осаждается водяной пар, если газ насытить этим паром, а затем резко охладить.

«В сентябре 1894 года, — вспоминал Вильсон много лет спустя, — я несколько недель работал в обсерватории на вершине Бен Невис, самой высокой горы Шотландии. Удивительные световые явления, возникающие при освещении солнечными лучами облаков, окружающих вершину, и особенно разноцветные кольца вокруг Солнца или теней, бросаемых вершиной горы на окружающий туман или облака, чрезвычайно заинтересовали меня. Я решил получить их в лаборатории. С этой целью я проделал несколько опытов, образовывая облака путем расширения паров. Но сразу же я натолкнулся на нечто такое, что обещало стать более интересным, чем те световые эффекты, которые я намеревался изучать».

Это «нечто» и есть замечательное открытие Вильсона. Пока что оно никак не связано с открытием Томсона. Но подождите, пройдет пятнадцать лет, и открытое Вильсоном явление станет тем магическим окном, которое позволит воочию увидеть следы, оставленные электронами Томсона.

Томсон, однако, не собирается ждать, и уже в следующем году приспосабливает только что открытое явление к измерению заряда своих частиц. Он прогоняет ионы водорода и кислорода, полученные при разложении воды в электролизе, через воду же и получает целые облака заряженных частиц. Эти облака затем медленно оседают на дно, подчиняясь всепроникающей силе земного тяготения. Взвешивая осевшие облака, Томсон находит их массу и число частиц в них, откуда без особого труда находит и заряд одной частицы.

Этот заряд он смело приравнивает заряду электрона. Через несколько лет опыт Томсона повторяет и Вильсон, но с важным усовершенствованием: он заставляет ионное облако оседать в конденсаторе. Меняя напряженность электрического поля, Вильсон может уже регулировать скорость падения заряженного облачка. И это сразу резко повышает точность измерения заряда электрона.

Дорожка проторена. По ней уже движется целый отряд ученых, которым предстоит отшлифовать до филигранного блеска метод Вильсона — Томсона. С 1909 года их возглавляет американец Роберт Милликен. Измерение заряда электрона он первым начинает производить не на ионном облаке — метод, увы, нелегкий, таящий в себе множество подводных камней, — а на масляной капле.

Только вдумайтесь: определять ничтожнейший заряд ничтожнейшей из частиц — и на чем? — на крупной, видимой запросто в микроскоп обыкновенной кухонной масляной капле. Что ни говори, а мысль очень дерзкая!

Правда, сама идея опыта принадлежит не Милликену, а австрийскому физику Францу Эренгафту. Но Милликен может по праву считаться вторым ее отцом: до такого совершенства он довел ее воплощение в опыте.

Эта «кухонная» капля не соскальзывала по стенке кастрюли, а медленно и величественно опускалась в воздухе между пластинами конденсатора. Ей не давали осесть на дно, уйти из поля зрения микроскопа.

Включалось электрическое поле в конденсаторе, и капля столь же величественно начинала подниматься вверх. Ничтожное передвижение регулятора — и капля надолго застывала в неподвижности. Силу притяжения капли к земле уравновешивала электрическая сила притяжения к верхней пластине конденсатора.

А дальше шел точнейший промер и расчет: диаметр капли, сила трения ее о воздух, точная сила земного притяжения, плотность масла и плотность воздуха, напряженность поля в

конденсаторе, учет неизбежных ошибок опыта из-за мелких движений воздуха, небольших колебаний поля — все эти «плюсы-минусы». И, наконец, появлялся результат — три или четыре цифры, за правильность каждой из которых можно ручаться каждым днем долгого сидения над микроскопом, каждой неделей новой настройки капризного прибора, каждым десятком листов кропотливых расчетов.

И когда уже совсем недавно обнаружилось, что цифру, полученную Милликеном, подпортило неверное значение вязкости воздуха, взятое им в расчет в 1913 году (и известное тогда), он, уже будучи стариком, не поленился и двадцать семь лет спустя улучшил свой собственный метод и провел новые точнейшие измерения заряда электрона. Методом Милликена еще в десятые годы нашего века удалось выяснить, что электрических зарядов, меньших заряда электрона, не существует.

А с развитием метода скрещенных полей Томсона удалось более точно определить отношение заряда к массе электрона и отсюда уже вычислить массу электрона. Она оказалась равной приблизительно 0,000 000 000 000 000 000 000 000 9 грамма (что сокращенно записывают $9 \cdot 10^{-28}$ г). И она оказалась самой маленькой массой из всех существующих в природе.

Метод Томсона в свою очередь зажил самостоятельной жизнью и спустя двадцать лет привел к еще одному важнейшему открытию в атомной физике — открытию изотопов. Но об этом — в свое время и на своем месте…

Шквал открытий

Конец девятнадцатого века ничуть не схож с концом восемнадцатого. Тогда говорили наполеоновские пушки — они играли марш молодому капитализму, вступающему в безраздельное владение Европой. В конце девятнадцатого века в Европе стоит настороженная тишина. В этой тишине только очень тонкий слух может уловить громы будущих войн. Явственнее всего громы доносятся из дипломатических кабинетов европейских столиц. В тихие университетские городки они не долетают совершенно.

Да и, пожалуй, там они не были бы услышаны за безмолвным звоном великой битвы идей. Давно наука не помнит такого шквала первостепенных, ярчайших открытий, как этот — в

последние годы девятнадцатого и первые годы двадцатого века. Словно все тропы, которыми до сих пор шла физика, свились в тугой узел, а из него вышла новая дорога, прорубленная в неведомый дотоле мир — мир атомных частиц.

За два года до открытия Томсоном электрона Вильгельм Конрад Рентген обнаруживает невидимые лучи, проникающие сквозь любые преграды. Спустя год Анри Беккерель открывает радиоактивность. Проходят еще три года, и Макс Планк выступает со своей гипотезой о квантах энергии. Затем — небольшая передышка. И в 1905 году молодой Эйнштейн дарит миру сразу два «алмаза» первейшей величины — гипотезу о квантах света и теорию относительности.

Под бешеным натиском новых идей рушатся основы старой физики, казавшиеся тогда монолитной твердыней. Среди физиков воцаряется растерянность. Уж слишком быстро все рухнуло…

Воспаленному мозгу неискушенных исследователей начинает казаться, что в природе все дозволено. У страха глаза велики, у несдержанного любопытства — еще более. Ошеломленная публика требует каждый день новых сенсаций. Физика вдруг стала модной наукой. И кое-кто из ученых рангом помельче не выдерживает…

За шквалом истинных открытий надвигается устрашающий шквал «псевдооткрытий».

За «икс-лучами», как скромно назвал свое открытие Рентген, разумея под «иксом» еще не познанную природу этих лучей, за радиоактивными лучами — их исследуют в те годы супруги Кюри — на свет нарождается целый сонм других всевозможных «лучей». Чтобы их занумеровать, уже не хватает всех букв алфавита.

Они и невидимы, эти «лучи» — спасительное свойство! — которое страхует их «первооткрывателей» от мгновенного разоблачения. Они и всепроникающи — поди докажи, что это не так. Вот эти «лучи» — чисто «животного» происхождения, а те испускаются только некоторыми минералами. И автор новых «лучей» подносит к вашим глазам целую коллекцию разнообразнейших камней. Они имеют друг с другом лишь то общее, что не имеют ничего общего с мифическими «лучами».

Были и шарлатаны, были и жертвы «научных» галлюцинаций. Последних как-то особенно жалко — как и всех тех, кто заблуждается совершенно добросовестно, чьи «глаза видят то, что хочет видеть ум».

Американский физик Роберт Вуд с усмешкой (немало и горечи в этой усмешке) вспоминает свой визит к французскому коллеге Блондло — «открывателю N-лучей». Блондло усадил Вуда в затемненной комнате, включил источник невидимых лучей и

стал объяснять Вуду, что с помощью вот этой призмы он разлагает «N-лучи» в спектр. Вуд вежливо слушал. Затем Блондло стал «водить» Вуда по спектру, называя разные его оттенки. Вуд по-прежнему вежливо поддакивал. Затем «сеанс» окончился. Блондло казался оживленным и очень усталым. Вуд поблагодарил, вежливо распрощался и уехал.

И только потом рассказал своим спутникам о цене этой вежливости. Во время «сеанса» Вуд просто-напросто снял со стола и сунул в карман ту самую призму, с помощью которой Блондло разлагал свои «N-лучи». Так что, во всяком случае, Блондло мог видеть что угодно, но только не спектр своих «лучей».

Сенсации, сенсации! А ведь в то время не одни лишь любители легких сенсаций, но даже и более серьезные ученые не догадывались о том, что физика только-только выбирается из острейшего кризиса, в который вверг ее луч… обыкновенного, каждодневно видимого нами света.

Война научных миров

Ни в одной области физики ученые не поломали в борьбе столько копий, как в вопросе о природе света. Знаменитую поговорку «Ученье свет, а неученье — тьма» в недавние времена можно было перефразировать как «Ученье о свете — тьма».

Нам придется снова ненадолго заглянуть в великую книгу истории. Откроем те ее страницы, которые повествуют о научных подвигах Исаака Ньютона. Мы без труда убедимся в величайшей широте «спектра» его научных интересов.

Кстати, сам спектр — тоже открытие Ньютона. Кроме механики, он немало занимался и оптикой. Казалось, нельзя было пройти при этом мимо такого интересного и в те времена совершенно загадочного вопроса, как вопрос о природе света. Но Ньютон прошел. А вернее, уделил этому вопросу слишком мало внимания. Если учесть масштабы его гения, это равносильно полному пренебрежению. И в этом проявляется характернейшая черта ньютоновской манеры работать. Главное для него — получить результат, а результат пусть объясняют другие. Но все-таки, что не вполне справедливо, корпускулярную теорию света ведут от Ньютона.

Нагретые тела светятся, испуская крошечные световые «искры» — корпускулы. Ненагретые тела светятся, отражая корпускулы. Попадая в глаз, эти частички и вызывают ощущение

света. Корпускулы разных цветов имеют разную массу.

Что же, все это можно сегодня прочитать в школьном учебнике физики под рубрикой «Взгляды Ньютона на природу света». Дальше можно бы привести такой мысленный диалог Ньютона с «нашим корреспондентом»:

— Вы согласны с вышесказанным, уважаемый сэр Айзек?

— Не могу сказать, что не разделяю этого взгляда, досточтимый мой собеседник. Но могу сказать, что я не вполне доверяю этой сомнительной гипотезе.

— А какая же несомненная, уважаемый сэр?

— Я гипотез не строю! Все гипотезы сомнительны, мой друг. Я полагаю, что предпочтение правильной из них отдаст время.

— Вы, простите, уклоняетесь от ответа, сэр Айзек!

— Мой друг, вы правы. Я работаю с данной гипотезой за неимением лучшей, но не требуйте от меня еще, чтобы я признал ее правильной.

«Наш корреспондент» откланивается. На пороге его встречают ученики:

— Ну, что сказал великий учитель?

— Да ничего, ни да ни нет!

— Это его скромность! Он никогда ни во что окончательно не верит!

— Ну, а вы-то? — спрашивает огорченный «корреспондент».

— А для нас световые частички так же ясны, как божий день! Мы горой стоим за эту идею.

И действительно, весь восемнадцатый век стояли горой — грозно и… недвижимо. Во всяком случае, первое утро девятнадцатого века застает эти представления о свете почти в том же младенческом состоянии, что и во времена сэра Айзека.

Пока что и «старый враг» дремлет. Собственно, он на каких-нибудь несколько лет моложе представлений, о которых мы только что говорили. Светом во времена Ньютона занимались не только в Англии. И в 1672 году в Парижскую академию наук поступает «Трактат о свете» голландца Христиана Гюйгенса.

Париж в те годы — центр мира. Парижская академия наук — центр ученого мира. Со всех концов Европы шлют туда свои работы ученые и считают честью для себя, когда эти работы выходят в свет в Париже. Но всяко бывает в этом веселом городе: бывает, что работы годами валяются в шкафах академиков, бывает, что и вовсе пропадают.

Обижаться? Не стоит. И Гюйгенс терпеливо ждет целых восемнадцать лет. Наконец, за пять лет до смерти, он получает свежие оттиски своего «Трактата».

В нем доказывается, что свет — это продольные волны в

некоей нематериальной среде, которая впоследствии получит название эфира. Сложные геометрические построения, формулы — вот это уже не ньютоновское «ни да ни нет», а суровое и точное изложение взгляда. Теория кажется убедительной. Она, кроме того, имеет еще преимущество перед своей соперницей в том, что, в отличие от той, правильно решает задачу о преломлении света.

Но сторонников в восемнадцатом веке она почти не находит. Тут числом не возьмешь: тогда, на нашу сегодняшнюю мерку, физиков почти не было!

Первое утро девятнадцатого века видит оживление в стане сторонников волновой теории Гюйгенса. Собственно говоря, все это оживление производит один человек — англичанин Томас Юнг. Без преувеличения сказать, биография одного только Юнга могла бы снять со всех англичан обвинение в чопорности и холодном темпераменте. Циркач, музыкант, математик, языковед, физик — и все это на полном серьезе, на высочайшем уровне и в прямом и переносном смысле.

Да, такой человек может оживить целую науку! Действительно, «на минуточку» заглянув в застывший храм оптики, Юнг сразу же делает крупнейшее открытие — открывает интерференцию света. Оно и определяет крутой поворот в ходе войны обеих теорий.

Через двадцать лет — после трудов французской «могучей кучки» в составе Этьена Малю, Доминика Араго и, наконец, Огюстена Френеля — о корпускулярной «ньютоновской» теории света никто и не вспоминает. Разгром ее кажется полным и окончательным.

Вплоть до сокровенных тонкостей поведения света — все объяснила волновая теория. А спустя тридцать лет Джемс Максвелл, наконец, выясняет, что за волны — свет. Оказывается — электромагнитные.

Сомнительная победа

«Тебя погубят твои же дети» — эти знаменитые слова древнего предостережения можно начертать у дверей любой новой научной теории.

Да, это так. Научная теория переживает робкое детство и могучую юность, когда теория словно шутя расправляется с труднейшими задачами, недоступными для ее предшественниц. Со временем к ней приходит и зрелость, когда теория словно

разливается вширь, охватывая новые, ею же предсказанные явления, устанавливая контакты с другими областями науки. Это время ее торжества, время наивысшего расцвета… Затем подкрадывается старость — в непрерывных сражениях с новыми фактами, открытыми благодаря самой же теории, но которые она бессильна объяснить.

Тогда наступает, на первый взгляд, застой в теории. Ее верные приверженцы выбиваются из сил, пытаясь как-то оживить ее. Другие бессильно опускают руки и уходят в другие области науки, где положение не кажется таким безнадежным.

Но остаются еще и третьи. В тиши кабинетов они вынашивают дерзкие идеи, которые уже никак не лезут в тесные рамки старой теории. Неприметные вначале, эти идеи в один действительно прекрасный день рушат стены того же дома, в котором они родились. Вот когда наука делает прыжок вперед!

Так случилось и с учением о свете в конце прошлого века. После первых внушительных побед волновой теории оптика быстро вышла на широкую практическую дорогу. И — совершенно закономерно — за решением вопроса о природе света на повестку дня стал вопрос: а как, собственно говоря, возникает сам свет?

— Стоило ли ломать голову! — воскликнет неискушенный читатель: нагрей любое тело, и оно начнет светиться.

Правильно. Это видно и без особых умственных усилий. Но все же, почему нагретые тела испускают свет?

Наш неискушенный критик, кажется, задумался. Ну ничего, пускай думает — это полезно. Десятки теоретиков думали над этим с виду простым вопросом десятки лет.

Трудностей здесь было сразу несколько. Во-первых, что испускает свет при нагревании тел? Очевидно, то, из чего они состоят, — атомы. Свет — это электромагнитные волны (что доказал Максвелл). А электромагнитные волны испускает любой электрический заряд при своем движении (Максвелл это установил «на бумаге», а Герц — в своих знаменитых опытах).

То, что атом в целом электрически нейтрален, физиков уже не смущает. Коль скоро были произнесены слова «атом в целом», то это уже доказывает, что ученые додумались до «атома не в целом». Действительно, уже кончается девятнадцатый век, идея электрона носится в воздухе и только ждет своего воплощения в открытии Томсона.

Можно перескочить через кой-какие нерешенные «мелочи» и сразу заявить: электромагнитные волны испускаются электронами, движущимися в атомах. Чем сильнее нагрето тело, тем интенсивнее это движение, тем более яркий свет вырывается

из атомов.

Все? Нет, не все. Электромагнитные волны уносят с собой энергию. Откуда они ее берут? От электрона, конечно. Поэтому, излучая волны, электрон вынужден замедлять свое движение.

Теперь второе обстоятельство. В электромагнитном излучении зарядов должны, как непреложно доказывает теория, присутствовать волны всевозможных частот. Как говорят физики, спектр этого излучения должен быть непрерывным.

Если бы вы «нацелили» свой радиоприемник на такой электрон, то не было бы необходимости в его настройке: электрон был бы слышен на всех волнах. А пустив электронное излучение на призму, вы должны были бы получить сплошную цветную полосу на экране.

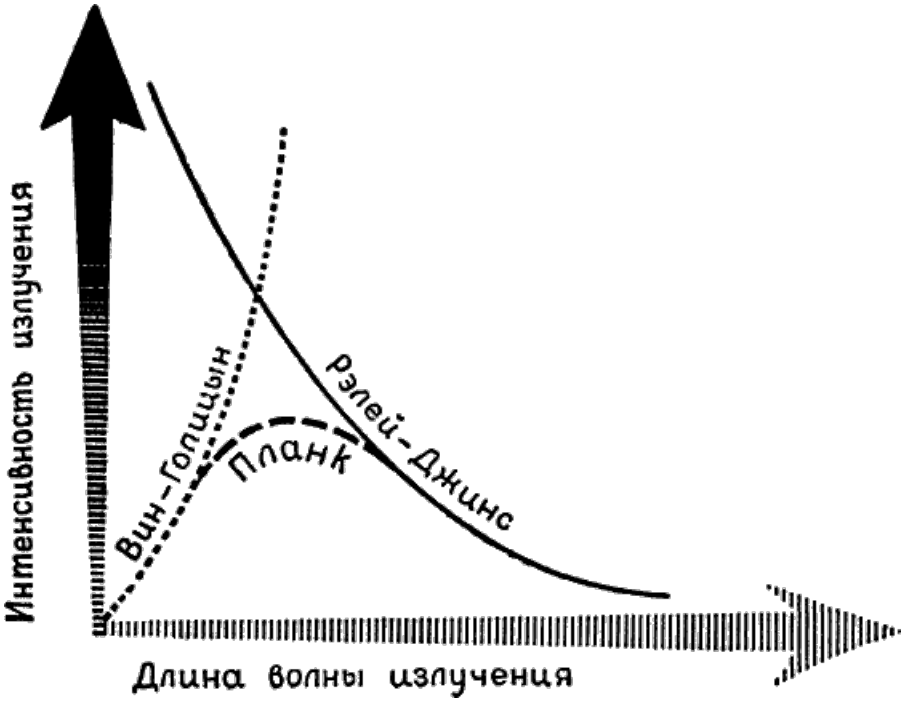
— Солнце за меня! — воскликнете вы и будете правы. Солнце, действительно, «выдает» практически именно такой спектр. Но не единственный же оно источник света на свете. И лампочка за меня! — тоже верно.

Но намочите в соленой воде тряпочку, высушите и подожгите ее. Чем не источник света?

А посмотрите на его свет сквозь призму. Вам долго придется искать взглядом в полнейшей темноте, пока вы не натолкнетесь на узенькую желтую линию. Вместо непрерывного спектра — сплошной провал, и на нем одна-единственная линия! То есть электромагнитные волны от тряпочки, вымоченной в соли, имеют одну-единственную частоту.

Я нарочно привел такой старинный пример, чуть ли не вековой давности. Сегодня подобные примеры бросаются вам в глаза на каждом шагу. Взять хотя бы неоновые вывески, в которых, кстати говоря, светятся не только неон, но и аргон, криптон и другие газы.

Что-то здесь тоже не видать непрерывного «всецветного» спектра! Подвел электрон! А вернее, подвела теория. Выходит, есть и такие непредусмотренные ею условия, при которых получается, как говорят, линейчатый спектр. Что же это за условия? Физики той поры только беспомощно разводят руками.



Согласно кривой Рэлея — Джинса интенсивность излучения в области коротких волн должна неограниченно возрастать. Кривая Вина — Голицына, напротив, плохо ведет себя в области длинных волн. Пунктирная кривая показывает, как удачно Планк «сшил» оба эти закона. Эта кривая отлично оправдывается на опыте.

Что ж, пойдемте дальше. Физика в те годы весьма усердно изучает свечение при нагревании тел. Оно так и называется «тепловым излучением». Уже известный нам Людвиг Больцман и австрийский физик Иозеф Стефан находят точное математическое выражение словам «чем горячее тело, тем оно ярче светится». А другой австриец Вильгельм Вин и — независимо от него — выдающийся русский физик Борис Борисович Голицын тем временем открывают закон, по которому изменяется цвет свечения тел при их нагревании.

После чего два английских физика — лорд Рэлей и Джемс Джинс — делают попытку объединить эти два закона в один.

Этот объединенный закон должен описать, как изменяется яркость свечения нагретых тел, если «пробежаться» по их спектру.

Но «пробежаться» не удалось. Разразилась катастрофа…

Понятное дело, катастрофа в теории… Она так и получила название «ультрафиолетовой катастрофы». Пока мы

путешествовали где-то в области радиоволн и инфракрасных волн, все шло нормально. Пробежали и видимый спектр, удалились в фиолетовую область и тут заметили, что бежать становится все труднее. Вместо спуска, как подсказывает здравый смысл, перед нами — гора, да и какая! Чем дальше залезаешь в ультрафиолет, тем она круче.

И оставили путешественники попытки забраться на эту гору. А физики-теоретики оставили всякую попытку понять, откуда взялась эта гора. Нет, не может быть, чтобы по мере увеличения частоты света его яркость бешено росла! Если бы это было так, мир был бы залит чудовищными потоками ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-излучений!

Закон Рэлея — Джинса рухнул. И потянул за собой в пропасть всю теорию излучения, всю старую теорию света. Если теория с железной логикой приводит к абсурдному закону — это крах всей теории.

Хватит с вас хотя бы этих двух трудностей? Наверное, хватит. Теперь надо подумать, как из них выбраться…

Рождение «количества»

Большинству ученых вторая трудность кажется серьезнее. Среди них — сорокалетний профессор Берлинского университета Макс Планк. Сорок лет — это может показаться много. Иной ученый уже от двадцати до тридцати «выложится до дна» и в остальные годы будет лишь счастливо пожинать плоды своей яркой вспышки. Планк к тому времени — довольно известный ученый, автор солидных трудов по теплофизике, механике и во многих других областях. «Глубокий ученый, прекрасный человек», — с уважением отзываются о нем коллеги. Но не более. Великим или гениальным его никто не называет, а в сорок лет уже нет надежды, что назовут. Да и не нужно это Планку. «Улыбка истины — дороже всех наград!»

И вот эта-то «улыбка» пока ускользает от него. Есть два закона, хороший каждый в своем «царстве», — закон Вина, отлично работающий в области коротких волн, и злосчастный закон Рэлея — Джинса, как раз никуда не годный в этой области. Но зато виновский закон плох там, где все-таки рэлеевский закон как будто бы вполне приемлем — в «царстве» длинных волн.

Планк после долгих раздумий выбирает, как ему кажется, путь наименьшего сопротивления: пытается каким-либо образом

«сшить» оба упомянутых закона. В математике такая портновская операция называется интерполяцией.

Интерполяционную формулу и ищет Планк. Наконец она появляется на свет — плод долгих и трудоемких расчетов. Остается проверить ее на опыте. Проверка производится — и груда расчетов летит в корзину! Не подошла формула!

Тем временем коллеги Планка — спектроскописты — производят новое тщательное измерение спектра теплового излучения. В октябре 1900 года Планк узнает об этом результате. И начинаются «героические две недели».

Бывает так: вдруг все, чем жил до сих пор, отодвигается на задний план, перед глазами день и ночь стоит заветная задача, сутки за сутками сливаются в один бесконечный день, метущийся в вихре мыслей. Растет бумажная груда, уже не знаешь, где начало, где конец, где основное, где второстепенное. Накал мысли достигает такой яркости, что кажется, еще минута — голова разлетится на куски. И вдруг наступает тишина…

Прозрение. Пришло прозрение. И уже не нужно лихорадочно рыться в груде бумаг, ловить ускользающие мысли. И вообще ничего не нужно. Мысли выстроились стройными рядами, как на параде. И все так удивительно, так потрясающе просто! Но в душу уже снова закрадывается беспокойство. Надо докладывать. Как преподнести открытие? Ведь прозрение пока осенило лишь его одного.

Надо признаться, основания для беспокойства у Планка есть. Очень радостно, просто замечательно, как результаты измерений тютелька в тютельку укладываются на новую кривую. И формула не выглядит громоздкой и отвратительно неуклюжей — почти верное свидетельство ее безошибочности!

Но… но в ее основе лежит предположение, подрывающее основы из основ старой физики. Той физики, в стенах которой вырос Планк и которой он сам отдал немало сил.

Это предположение о квантах энергии.

Классическая физика со времен Ньютона считает, что любая энергия, какое бы происхождение она ни имела, приобретается ли она, отдается ли телами — она непрерывна. Она расходуется, переносится, приобретается так же ровно и бесперебойно, как вытекает вода из крана.

Кажется даже смешным утверждать обратное. Еще никто не видел, чтобы свеча то вспыхивала, то гасла, излучая световую энергию, чтобы камень, летящий в пропасть, дергался, рывками набирая скорость и энергию.

Планк уже убежден, что так оно, в сущности, и есть. Но убедить в этом других — пусть даже только физиков! Что ни

говори, а Планк беспокоится не зря.

От кванта до фотона

19 октября 1900 года Планк сделал сообщение о своем открытии — квантах энергии — на заседании Берлинского физического общества. Ученые — народ вежливый, доклад Планка был встречен с «некоторым интересом». Планк на большее и не рассчитывал. Он еще сам не понимал колоссального значения своей работы.

А назавтра начинаются опять будни. Надо снова не торопясь пройти торным уже путем рассуждений и обосновать — попытаться обосновать — новую формулу. Но очень скоро Планк убеждается в том, что формула не желает обосновываться. Ей нет места в старой доброй почве классической физики.

Теперь уже не спеша проходят год за годом. Формулой Планка интересуются экспериментаторы, охотно пользуются ею в своих исследованиях теплового излучения. Но ни Планк, ни кто-либо другой не пытаются расширить поле деятельности планковских квантов.

Так проходит пять лет. И в широко известном немецком журнале «Физическое обозрение» появляется небольшая статья никому раньше не известного автора. В этой статье сотрудник швейцарского патентного бюро Альберт Эйнштейн пытается объяснить совершенно необъяснимые свойства интереснейшего физического эффекта. Открытие этого эффекта связано опять же с именем Генриха Герца. А его исследование — с именем Филиппа Ленарда.

…Наверное, многие из вас прочли замечательную книгу Митчелла Уилсона «Жизнь во мгле». Помните одного из самых мрачных персонажей книги — профессора Ригана? Так вот, Риган — это портрет Ленарда, «пересаженного» на американскую почву. Талантливый исследователь, зараженный и в конце концов погубленный микробом неутолимого тщеславия.

Да это же драма шекспировского масштаба! Всего лишь за два года до открытия Рентгена Ленард, изучая «лучистую субстанцию», выпускает ее через тонкое металлическое окошко из разрядной трубки. И что же: она сохраняет свое действие в воздухе. Ленард получил первые рентгеновы лучи — но он не догадался об этом! Он думал, что в воздух выходят те же лучи, что и бегущие в трубке, — то есть электроны.

И лишь когда Рентген делает действительное открытие, Ленард спохватывается. Теперь он понял, мимо чего прошел. Теперь можно втихомолку локти кусать.

Ленард поступает иначе. Он начинает кричать на всех научных перекрестках о том, что первооткрытие знаменитых лучей принадлежит именно ему. Но физики не поддерживают его домогательств. Они согласны со старейшиной английских физиков Габриелем Стоксом, который ворчливо заметил, что «Ленард, быть может, открыл рентгеновы лучи в своем мозгу, тогда как Рентген направил их в кости других людей».

Так родилось озлобление. Ленард работает, но в душе он затаил ненависть ко всему научному миру. Пройдут долгие годы, и это подспудно тлевшее низменное чувство вдруг вспыхнет ярким пламенем. Вместе с гитлеровскими выродками Ленард будет рьяно изгонять из Германии «проклятую еврейскую теорию относительности» вместе с ее автором. И за измену науке, измену человечеству он получит свои иудины тридцать сребреников: гитлеровская «академия наук» торжественно переименует рентгеновы лучи в «лучи Ленарда». Что ж, Ленард достиг, чего хотел.

Он умер в 1947 году, когда советские люди уже забили осиновый кол в могилу «арийского духа» и похоронили мрачнейшую пору в истории человечества. Умер, непрощенный и забытый современниками.

Но история науки не забыла Ленарда. Она помнит, что важнейшими сведениями о фотоэффекте физика обязана ему.

Генрих Герц открыл, что ток в разрядной трубке усиливается, если освещать катод ультрафиолетовым светом. Двенадцать лет спустя, на самом пороге нового века, Ленард выясняет, что катод при таком освещении выбрасывает электроны. А еще спустя три года он обнаруживает сразу два поразительных свойства нового явления.

Оказалось, что электроны вылетают из катода лишь до тех пор, пока частота света не перейдет некоторый предел. После этого явление мгновенно исчезает — словно ножом отрезали. А если оно существует, то увеличение освещения увеличивает только число электронов, вовсе не меняя их энергию.

Оба эти свойства в корне противоречили тому, что предсказывала волновая теория света. В самом деле, не все ли равно, какая энергия поступает в металл вместе со световой волной? Раз она поступает, она должна приобретаться электронами. Она должна приводить к их вылету из металла. А чем больше эта энергия, тем большей должна быть и энергия электронов.

Между тем на опыте ничего даже близко похожего!

Кто же ответит на этот вопрос? А это зависит от того, кто первый не только воспримет новые представления Планка, но и усвоит их. Им оказался Эйнштейн.

Свет «работает» в фотоэффекте не как волны, показывает он. Свет ведет себя здесь как потоки частиц. Ударила такая частица по электрону, передала ему свою энергию — и вылетел он из металла. Но вылетел лишь в том случае, если ему передана достаточная энергия. Каждая световая частица несет с собой планковский квант энергии! Мал квант — нет фотоэффекта. А энергия кванта просто пропорциональна его частоте.

Чем сильнее свет, тем больше в нем квантов. А чем больше квантов, тем больше они могут выбить электронов, конечно, при условии, что у каждого из квантов хватит на это энергии. Ведь каждый квант света «ударяет» только по одному электрону.

Так… торжествующая победа волновой теории света над своей «корпускулярной» соперницей оказалась сомнительной. Проходит век, и та снова поднимает голову. Фотоэффект, который бессильны вызвать волны, вызывают частицы. Кажется, опять разгорится вековая война обеих теорий.

Нет, этого не произойдет. Оттого, что обнаружен фотоэффект, не перестали существовать интерференция, дифракция, поляризация света, а их никакими частицами не объяснишь. Свет — это и волны и частицы одновременно!

Но как это может быть, как это себе представить?! А представить это действительно трудно. Не один десяток лет физики двадцатого века вживались в это представление. С «частицей-волной» света — спустя двадцать лет из уст американского физика Гильберта Льюиса она получит название «фотона» — в науку вошла первая двуликая сущность. Время показало, что такой двуликости не избежать ни одному предмету нашего мира. Но об этом разговор еще впереди.

Казалось бы, фотоны могли и не ждать до 1905 года. Еще за двадцать лет до того Аристарх Аполлонович Белопольский, замечательный русский астроном, заметил, что хвосты у комет можно объяснить отталкиванием кометного вещества солнечными лучами.

Световое давление! Его действительно открывает и измеряет несколько лет спустя — не в бескрайних космических просторах, а в тесных стенах скромной лаборатории — столь же скромный Петр Николаевич Лебедев.

Град фотонов, бомбардирующих поставленную на их пути поверхность! «Застревая» в ней, отражаясь от нее, фотоны передают телу то количество движения, которым они обладали «в

полете». Пусть очень слабеньким будет этот град, пусть Лебедеву для обнаружения его потребуется потрясающая по своей чувствительности аппаратура, — давление света прямо указывает на существование фотонов. Так же, как давление газа на стенки сосуда было за много лет до того объяснено существованием молекул, их ударами о стенки.

Все это так. Но волны тоже переносят с собой количество движения. Тоже отдают его телам, на которые «натыкаются» при своем распространении. И формула этого давления, которую теоретики вывели для света — электромагнитных волн, — отлично согласуется с первыми же опытами Лебедева.

Да, к сожалению, давление света — это одно из тех немногих явлений, где результаты расчета что с помощью электромагнитных волн, что с помощью фотонов — абсолютно одинаковы. Потому-то фотону и пришлось ждать еще несколько лет, пока не применили мысль о нем к другому, более «удобному» для его открытия явлению. Если уж говорить более точно, то была открыта не новая частица. Открыто было новое важнейшее свойство света.

Почему же в обыденной жизни никто из нас не замечал отдельных квантов света? Прежде всего, конечно, потому, что каждый из них несет с собой чрезвычайно малую порцию энергии. Но даже и не в этом главное, а в том, что они слишком быстро следуют друг за другом. Обычная двадцатисвечовая лампочка испускает в каждую секунду неисчислимые их полчища — 60 миллиардов миллиардов!

Не то что глаз, никакой самый быстродействующий автомат не сосчитает их все поодиночке. А на глаз пенять нечего: с очень неважной быстротой срабатывания (на том и основана иллюзия непрерывности смены кадров в кино) он соединяет неимоверно высокую чувствительность.

Много лет спустя замечательный физик Сергей Иванович Вавилов провел очень поучительный опыт. Он посадил в темную комнату человека, выждал, пока глаза его привыкнут к темноте, а затем включил очень слабенький источник света. Такой слабенький, что по сравнению с ним светлячок показался бы солнцем! Этот источник давал считанные кванты света в секунду. И что же? Глаз сосчитал их почти поодиночке!

Так в жизнь вошла вторая частица, рядом с которой люди жили веками, даже не подозревая о ее существовании. Частица света — фотон.

И не только света. Из фотонов состоят и радиоволны, и инфракрасные лучи, и ультрафиолетовые, и рентгеновы, и гамма-лучи. Все то, что называется электромагнитными волнами, может

быть с равным основанием названо фотонами.

Понятно, что свою двуликую природу фотоны проявляют в разных явлениях. В одних они волны, в других — частицы. Отдать предпочтение какой-либо из «сторон медали» нет никаких оснований. Нет оснований и не будет.

Солнце атомного мира

Атом «в целом» электрически нейтрален. Атом «в нецелом» выбрасывает электроны. И не только электроны. Магнит, поднесенный к радиоактивному препарату, расщепляет вылетающие из него частицы на три пучка. Одни магнитный ветер сбивает вправо, другие — влево, третьи — оставляет без влияния. Мы уже догадываемся, что частицы в одном луче несут на себе отрицательный заряд, в другом — положительный, в третьем нет никакого заряда.

Об этом догадался шестьдесят лет назад и молодой ученик почтенного профессора Томсона. Он только недавно работает в тихой кембриджской лаборатории — этот молодой новозеландец. Он покинул далекую идиллическую страну на краю света, страну тучных пастбищ и голых гор, склоны которых залиты окаменевшими потоками лавы и окутаны паром гейзеров. Он переплыл моря и океаны, чтобы «приземлиться» в старинном английском городке и заняться физикой.

Сегодня такой поступок не вызвал бы никаких особых эмоций. Но в начале века, когда физиков, занимавшихся атомом, было куда меньше, чем хотя бы электронов в атоме урана, — над ним и склонился молодой Эрнест Резерфорд, — что ж, в те годы это было подвигом.

Подвиг в ожидании научных подвигов! Они не заставляют себя долго ждать. Первый из них — «разбор по косточкам» радиоактивного излучения. Несколько лет напряженной работы — и в 1903 году Резерфорд может сообщить ученому миру, что альфа-лучи — это потоки дважды заряженных положительным электричеством частиц, по массе очень близких к атомам гелия, а бета-лучи — это потоки незадолго до того открытых электронов. Гамма-лучи, как определяет Мари Кюри, сходны с рентгеновыми лучами.

Секрет происхождения гамма-лучей будет ждать окончательной разгадки еще добрых два десятка лет. Лишь в 1926 году немецкая исследовательница Луиза Майтнер докажет, что

это — электромагнитное излучение, возникающее после радиоактивных превращений.

То, что из атома урана выбрасываются положительные частицы, Резерфорда не удивляет. Еще не нашлось в природе такого повара, который мог бы состряпать атом из одних лишь электронов. Они же мгновенно разлетятся в разные стороны, распихиваемые могучими силами взаимного отталкивания.

Значит, в атоме должен обязательно найтись такой положительный цемент, чтобы он мог связать воедино враждующие электроны. Как выглядит атом в таком случае? Наподобие пирога, полагает Томсон. Электроны — словно изюмины, увязшие в клейком тесте пирога. Похоже на пудинг — излюбленное блюдо англичан. Что ж, может быть и так — Резерфорд до поры до времени не сомневается в такой «картине». Правда, он часто обсуждает с коллегами и другие модели атома.

В 1909 году он вместе со своими учениками Эрнстом Марсденом и Гансом Гейгером ставит на пути радиоактивных излучений небольшие листочки металла. Установка предельно проста: ампулка с радием, тонкий металлический листочек, да еще экран — стеклянная пластинка, покрытая слоем цинковой обманки. Как выяснил Крукс, такой экран светится каждый раз, когда на него попадает заряженная частица.

Меняются листочки, двигается экран, а наши исследователи все сидят месяцами в затемненной лаборатории и считают вспышки. Непонятное начинается, когда экран устанавливается по ту же сторону листочка, что и препарат радия. Экран вспыхивает и при этом!

Дайте понять… Пока экран за листочком, в его вспышках нет ничего необычного: альфа-лучи проходят через тесто «атомного пирога», конечно рассеиваясь в нем, и идут дальше, к экрану. Но вот экран обогнул листочек и стал перед ним по ту же сторону, что и препарат. Число вспышек резко уменьшилось, но они все же остались. Может быть, альфа-частицы попадают на экран прямо из ампулы? Это легко проверить — достаточно убрать листочек. Вспышки прекращаются, как по мановению волшебной палочки. Значит, не в ампуле дело.

Но тогда в чем же? Как могут альфа-частицы отразиться от «клейкого пирога» и вернуться назад? Вот где пища для раздумий Резерфорду!

…Что-то когда-то он читал о кометах. Кометами много занимались в начале века. Длинные хвосты, огибающие Солнце, издревле поражали людское воображение. «Грозят кометы мором и войной!» — изрекали взволнованные поэты, а на папертях церквей толкался испуганный народ, слушая грозные пророчества

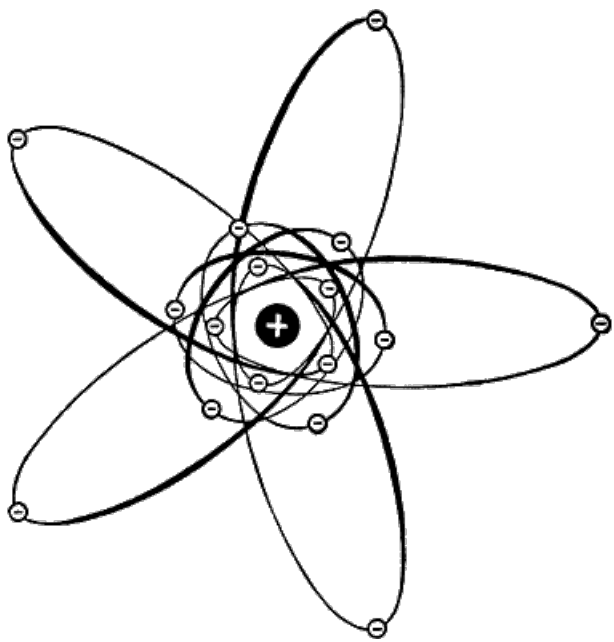
юродивых.

В начале века мрак рассеялся.

Петр Николаевич Лебедев доказал, что свет оказывает давление на тела. И хвосты оказались выбросами кометного вещества под действием солнечных лучей. Но тело кометы все же притягивается Солнцем. Да, что-то не то…

А что было бы, если комета вся отталкивалась бы Солнцем? Как бы она шла мимо Солнца? Здесь одно размышление не помогает, нужен расчет. Резерфорд считает… Через несколько дней, довольный и шумно веселый, он является в лабораторию, отряхивает снег с шапки и голосом, похожим на львиный рык, объявляет: «Теперь я знаю, как выглядит атом!»

«Белые рабы» Гейгер и Марсден вопросительно смотрят на учителя, а тот, не раздеваясь, присаживается к столу и рисует… солнечную систему. Вот он посадил в центре Солнце, жирно зачернил его, пририсовал орбиты планет. Возле Солнца крупно написал «ядрышко». А чтобы снять последние следы недоумения с лиц учеников, в центральном кружочке жирно поставил «+» и по планеткам разбросал «минусы». Планетки — электроны!..



Так изобразил строение атома Резерфорд. Вокруг ядра, в котором сосредоточена почти вся масса атома, по определенным орбитам кружится хоровод легоньких электронов. Эти орбиты могут иметь вид не только окружностей, но и эллипсов.

Только так можно понять странное отражение альфа-частиц назад, взволнованно говорит Резерфорд Гейгеру и Марсдену. Словно альфа-частицы в глубине атома наталкиваются на высокую электрическую горку. Как саночки! — те из них, что попадают на горку сбоку, проходят дальше, только немного сбившись с пути. А те, что налетают на горку в лоб, — те скатываются назад. Назад — в этом весь секрет!

Когда альфа-частицы влетают в атом, они обнаруживают скрытую в его недрах высокую гору — ядро. Пытаясь атаковать эту гору сбоку, альфа-частицы отклоняются, сильнее или слабее, в стороны от исходного направления полета — рассеиваются. Те же частицы, которые пытаются взять эту гору в лоб, бесславно скатываются назад. Именно эти отраженные назад альфа-частицы навели Резерфорда на мысль о существовании атомного ядра.

Через два месяца рисунок «солнечного атома» появится на страницах «Философского журнала», издаваемого Кембриджским университетом. А оттуда начнет свое полувековое шествие по страницам бесчисленных книг…

Атом, подобный Солнечной системе, как-то сразу и бесповоротно входит в сознание физиков. Странный, всем своим видом бросающий вызов классической физике, еще далеко не сдавшей своих позиций, — и все же… Иногда красота научной идеи сразу поражает в сердце, минуя слабые протесты ума.

Но надо еще доказать, что эта «красота» имеет право на существование. Электроны не могут вращаться вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца.

На помощь приходит Бор

Помните? Ускоренно движущийся заряд должен непрерывно излучать. Излучая, он теряет энергию. Теряя энергию, он должен замедлять свое вращение. Замедляя свое вращение, он должен в конце концов остановиться.

И в этот момент сила электрического притяжения электрона к ядру атома станет безраздельным хозяином положения. Мгновение — электрон исчезает в ядре, за ним второй, третий. И с ними прекращает свое существование сам атом.

Что-то здесь не так… Снова исследователь оказывается, подобно Планку, подобно Эйнштейну, перед тяжелейшим выбором: либо неверна модель, либо неверна… старая физика. На сей раз эта альтернатива стоит перед Резерфордом и молодым датчанином Нильсом Бором. Он только третий год работает с Резерфордом, но уже успел проникнуться глубочайшим уважением к своему учителю.

Обидно будет, если любимое творение учителя отвергнет строгая критика. Но она необходима. «Платон мне друг, но истина дороже!» Бор ищет истину. И в клещах трудного выбора, что ни говори, ему все же легче, чем его предшественникам, дерзнувшим первыми посягнуть на старую физику.

Уже идет 1913 год. Уже позади теория квантов и теория относительности. И великие эти примеры не могут не придать Бору смелости.

Электрон можно сохранить от гибели в ядре, а с ним сохранить и сам атом, если электрон не будет излучать на орбите электромагнитные волны. Другого выхода нет. Так пусть это и будет выход. Запретить электрону излучать на орбите! На какой бы орбите он ни был. Ибо, как показывает несложный подсчет, таких орбит может быть много.

Запретить — и без всяких! Бор пока не знает, как обосновать свой запрет. И поэтому скромно называет его постулатом, то есть предложением, принимаемым без доказательств.

Но атом все же испускает излучение — свет, например. Надо в запрете, выходит, оставить лазейку? Что-то вроде «нет правил без исключений»? Так Бор приходит ко второй находке. Правда,

чтобы не покривить душой, он должен признать долю участия в этой находке за своим «научным дедом» Томсоном.

Электрон испускает излучение в тот неуловимо короткий миг, когда прыгает с орбиты на орбиту. И в этот момент на свет рождается… фотон.

Вот когда атом Резерфорда обретает физическую плоть! Не беда, что второе положение Бора тоже постулат, что оно пока что столь же недоказуемо, как и первое. Притягательная сила новой теории атома столь велика, что перед ней не может устоять ни один физик. Не проходит и трех лет, как она, подобно палочке-считалочке, уже выдает ответы на сотни вопросов, которыми ее забросали физики. И правильные ответы!

Сразу удалось разрешить серьезнейшую трудность старой физики — помните, с линейчатыми спектрами? Перестает быть загадкой удивительная повторяемость свойств химических элементов, впервые подмеченная Дмитрием Ивановичем Менделеевым.

Эта повторяемость и легла в основу созданной им периодической системы химических элементов. Чем объяснить ее? — Менделеев не знал. Конечно, к тому времени уже были известны атомы. И Менделеев установил, что свойства химических элементов периодически зависят от веса их атомов.

Но почему? На этот вопрос в те годы ответа дать было нельзя. Еще не были известны электроны, еще не знали, как устроены атомы.

Теперь же, в десятые годы нашего века, «солнечноподобная» атомная картина Резерфорда и Бора без промедлений объясняет периодический закон Менделеева. Химические свойства атомов — а о периодичности именно этих свойств идет речь — определяются просто числом электронов на самой внешней, наиболее удаленной от ядра оболочке атома.

Сколько в ней может быть электронов? Наблюдения показывают, что не более восьми. От одного до восьми электронов, а значит, всего восемь типов химического поведения атомов, восемь валентностей. Когда атомы соединяются в молекулы, в игру вступают электроны на самых наружных атомных орбитах.

Вот здесь и лежит ключ к валентностям, заключает в 1914 году немецкий химик Вальтер Коссель. Это заключение и образует ту основу, на которой начинает развиваться новая, современная химия. Не та, что вслепую колдует у пробирок, а зрячая, вооруженная точным представлением и расчетом.

И это только малая доля открытий, которые вдруг хлынули

из нового атома, как из рога изобилия. В этом быстром потоке нового знания ядро может считать себя обойденным. Не до него! Физики удовлетворяются пока самыми общими сведениями о нем: ядро положительно заряжено; в нем сосредоточена почти вся масса атома; оно имеет размеры, в десятки тысяч раз меньше, чем те орбиты, по которым вокруг него вращаются электроны.

Из чего оно состоит? Самое легкое ядро — это, как показывает опыт, ядро атома водорода. Вероятно, оно содержит в себе одну положительную частицу. Ядро простейшее, а потому переносит свое название и на свою частицу. Ее называют протон, что по-гречески и означает «простейший». Следующее — ядро атома гелия — вчетверо массивнее. Значит, в нем четыре протона и так далее.

А чтобы ядро могло долго и устойчиво существовать, несмотря на взаимную вражду его положительных частиц, в него нужно добавить цемента. Как и двадцатью годами раньше, когда физики пытались сдержать в атоме разлетающиеся электроны.

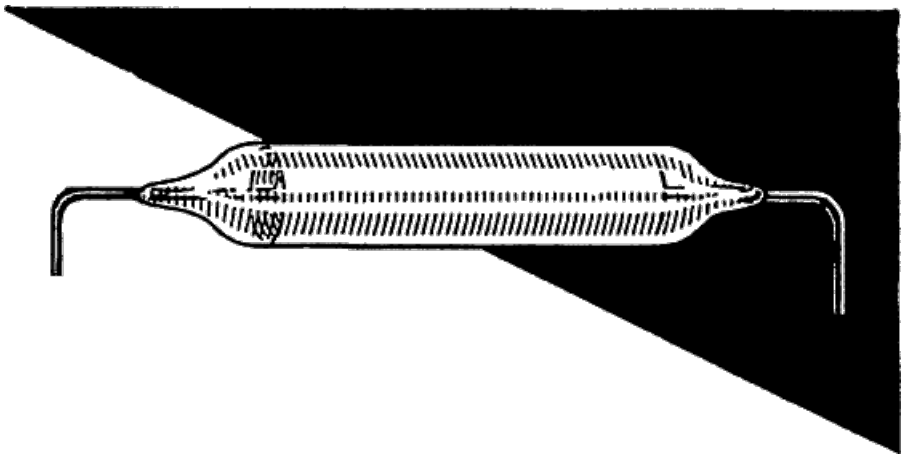
Пусть эти же электроны и будут цементом для протонов. Тогда ядро гелия можно составить, с его двойным положительным зарядом, из четырех протонов и двух электронов.

Вот пока и все внимание, которое уделили физики ядру. Третья выдающаяся частица атомного мира — протон — на сей раз открыта как-то «заурядно». Словно некий прочный продукт резерфордовского атома. И тут же большинство физиков забывает о нем. Забывает надолго. В следующее двадцатилетие физики заняты совсем другими вещами.

Но не забывают о ядре ни Томсон, ни Резерфорд, ни их ученики. Кажется, что они пошли теперь не в ногу с веком, в стороне от основного потока физики.

Время покажет, что это не так. «Ядерная» тишина десятых и двадцатых годов подготовляет грандиозные открытия тридцатых годов, мощно потрясшие человечество…

Глава 2
Град из космоса



О чистоте

Мойте руки перед едой! Врачам, долго и успешно пропагандирующим этот лозунг, обеспечена поддержка физиков.

Ибо любой физический — да и не только физический — опыт есть результат упорной борьбы человека с природой. Она нисколько не стремится к чистоте. Напротив, все, что можно, она перемешивает друг с другом. Да еще так тесно, что отделить одно от другого нередко требует колоссального труда и немалого хитроумия.

История физики — это история борьбы за чистоту опыта. Интересующему явлению всегда сопутствует компания побочных явлений. Эти явления постоянно мешают; нередко они совсем маскируют нужное явление.

Допустим, — и это ближе к нашей теме — физик изучает электрический разряд в чистом газе, к примеру, в аргоне. Значит, прежде всего надо получить чистый газ. Аргон добывается из воздуха, где его ничтожные доли процента.

Сегодня физик может не беспокоиться: к его услугам мощная химическая промышленность. Но еще полвека назад он должен был добывать аргон собственными руками.

Процедура извлечения аргона из воздуха длинна и хлопотна. Пришлось бы долго описывать ее. Но вот аргон получен. Чистый? Конечно, нет. Абсолютно чистых веществ человек еще никогда не имел в своем распоряжении.

Все вещества, даже очень чистые, хоть и немного, но загрязнены примесями. Аргон, например, запачкан следами кислорода — очень неприятного газа. Дело в том, что кислород, как выяснилось впоследствии, очень активно вмешивается в ход электрического разряда и может сильно напортить в опытах.

Совсем избавиться от кислорода невозможно. Физик в нашем рассказе удовлетворяется примесью, скажем, одного атома кислорода на тысячу атомов аргона.

Следующий этап — ввести аргон в сосуд, в котором будет проходить опыт. Теперь надо очищать сосуд. Задача эта еще труднее. Она напоминает работу билетеров в кинотеатре, когда закончился детский сеанс и должен начаться взрослый. Да еще с грозным аншлагом: «Дети до 16 лет не допускаются!» Такое объявление способно только разжечь мальчишечье любопытство.

И, вместо того чтобы чинно проследовать на выход, мальчишки прячутся по всем закоулкам зала. Вспугнутые билетерами, они выскакивают в двери, чтобы вернуться через окна. Несмотря на все старания билетеров, на взрослом сеансе всегда останется «примесь» мальчишек.

Примерно так и получается при откачке воздуха из сосуда перед наполнением его чистым газом. И, подобно билетерам, физики мирятся с неизбежным злом. Лишь бы этого «зла» было поменьше!

Пойдемте дальше. Если физик собирается изучать ионизацию в газе — а ее и создает электрический разряд, — то прежде всего надо убрать ионизацию, появившуюся еще в отсутствие этого разряда. Фон, как говорят физики. Если изучаемая ионизация будет слаба, то фон ее может начисто скрыть.

Наш физик работает уже в начале двадцатого века. Он уже знает о существовании радиоактивности, знает, что она может обнаружиться и по ионизации газа. Те же уран и радий — пусть в ничтожных количествах — обитают во всех земных породах. С этими породами они попадают во все строительные материалы. Все здания, хоть и очень слабо, но радиоактивны.

Значит, на вольный воздух! Но и тут нет полного спасения. Радий, распадаясь, постоянно выделяет радиоактивный газ — радон. А радон уходит в воздух. Правда, если выкачать воздух из опытного сосуда, от радона можно практически избавиться. Но не выкачаешь же всю атмосферу!

Чтобы радиоактивные излучения не проникали в сосуд, его

надо заэкранировать со всех сторон свинцом. Ну, теперь, кажется, все в порядке? Наш физик вместо ответа беспомощно показывает на листочки заряженного электроскопа. Да, они меньше опали по сравнению с тем, что было до того, как приняли защитные меры. Меньше опали, но все же опали. Хоть маленькая, а все же ионизация осталась.

Ну и ладно: мало ли какие бывают мелкие погрешности в опыте! О странной «неуничтожимой» ионизации забыли. Но не все: нашлись дотошные ученые, которые решили дойти до конца, и среди них известный уже нам Чарлз Вильсон. Однако осуществление их намерения откладывалось из года в год.

Тем временем непонятным явлением заинтересовались австрийцы. Земля, воздух — источник радиоактивной грязи. Так подальше от них, — решили эти ученые. И поднялись в небо на воздушных шарах. Первые километры подъема. Ионизация действительно уменьшается. Но затем начинается непонятное: ионизация начинает снова расти, причем весьма быстро. Австриец Виктор Гесс, одним из первых обнаруживший это примечательное явление, перебрав в уме все возможные его причины, высказывает удивительную мысль. Эта ионизация вызывается какими-то сильно проникающими лучами неземного происхождения!

Как всегда, когда высказывается что-то удивительно смелое, нужно время, чтобы еще и еще раз проверить его. И, если оно правильно, свыкнуться с ним. Но историю мало волнуют судьбы научных открытий. Через четыре года после открытия Гесса в Европе вспыхнула первая мировая война.

И все же в считанные мирные годы перед первой мировой войной немецкий физик Вернер Кольхерстер успевает подняться еще выше Гесса и подтвердить его результаты. На высоте двенадцати километров, когда Земля за окном иллюминатора воздушного шара скрылась в сизой дымке, приборы показали, что ионизация возросла в целых тридцать раз!

Да, ее явно вызвали лучи неземного происхождения. Таинственные лучи, идущие из глубин космоса.

Как «слушают» излучения

Град невидимых частиц, бесперебойно бомбардирующих Землю! Ученые ухитрились сделать его и видимым и слышимым.

Следы всегда остаются. По счастью, неведомые пока частицы космических лучей не вняли этому предупреждению юристов.

Они, по образному сравнению известного их исследователя Пьера Оже, напоминают мотоциклистов, на недозволенной скорости врезающихся в толпу.

Мы предпочтем менее печальный образ — сильного зверя, попавшего в заповедный лес. Этот образ тоже далек от истинного: наш зверь, вместо того, чтобы задрать первую попавшуюся ему на пути жертву, предпочитает лишь содрать с нее кусок шкуры и несется дальше, к следующей жертве. Путь его очерчен покалеченными обитателями леса. Наконец, растратив все свои силы, наш зверь где-то укладывается на отдых.

После появления «планетарной» модели атома Резерфорда нам уже понятно, что обитатели заповедного леса — атомы, ядра которых одеты в электронные шкуры. Стоит вырвать хотя бы небольшой кусок шкуры — и атом превращается в электрически заряженный ион. Если включить теперь электрическое поле, то покалеченные атомы побегут «жаловаться» к катоду. Кусочки шкур тоже не останутся в неподвижности — они, словно подхваченные ветром, понесутся к аноду. Это, как мы уже догадываемся, — электроны.

В газе пошел электрический ток! Страшно слабенький, далеко за пределами чувствительности самых совершенных амперметров, — но все же ток. Тем временем он выбрался через электроды из сосуда и побежал по проводничку к электроскопу. И предварительно заряженный электроскоп стал разряжаться: листочки его начали опадать. Так получили первую ионизационную камеру.

Нет, она не позволяет еще ничего слышать и видеть. Но она уже может сигнализировать: в лесу появились хищники! И она уже может даже примерно оценить, сколько их появляется, скажем, за час или за день. Именно с ионизационной камерой проводили свои первые измерения Гесс и Кольхерстер.

Немного спустя физики обзавелись новым капканом для частиц. Не иначе, как Ганс Гейгер — «белый раб» своего учителя Резерфорда — безумно устал от бесконечного сидения в темной комнате, где на экране время от времени появлялись слабенькие вспышки от альфа-частиц. А может быть, и не настолько устал, чтобы ему в голову не приходили любопытные мысли.

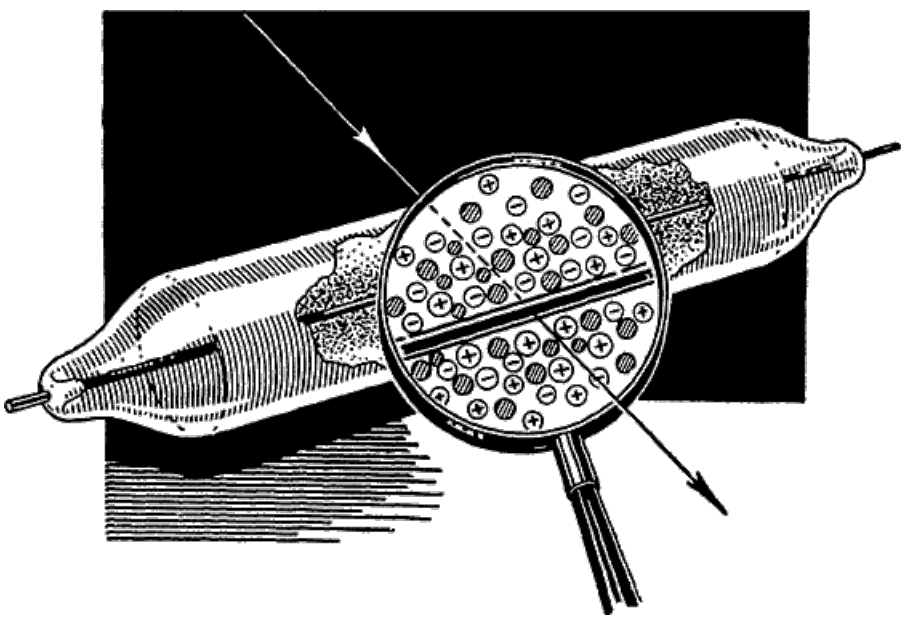
Во всяком случае, именно он придумал счетчик частиц, который получил его имя. Теперь уже можно было следить за появлением каждого хищника в заповедном лесу. Посмотреть на схему — та же ионизационная камера: тот же сосуд с двумя электродами, на которые подано напряжение.

Однако на этом их сходство кончается. Дальше начинается нечто невообразимое.

Гейгер, видимо, начисто лишен жалости к лесным обитателям. Придав своим электродам особую форму (вот она показана на рисунке), Гейгер создает около анода электрический ветер чудовищной силы. Куски шкур, сорванные хищником, несутся здесь с такой бешеной скоростью, что от столкновения с ними не поздоровится и уцелевшим зверям. А удрать от этой бойни мирные звери не в состоянии — они слишком неповоротливы.

Растет несущаяся к аноду лавина электронных шкур, растет число задранных зверей, бегущих «жаловаться» катоду. Немногочисленные электроны, созданные влетевшей в сосуд частицей, быстро размножаются и возле анода превращаются в могучий поток.

Слабенький ток в ионизационной камере сменяется мощным импульсом тока в счетчике Гейгера. Именно импульсом: потому что ток в счетчике прекращается, как только последние «жалобщики» достигнут катода.



Толчея электронов, ионов и нейтральных атомов в счетчике Гейгера. Возле нити анода электроны настолько энергичны, что рождают настоящую лавину из ионов и вторичных электронов.

Мощный импульс от каждой частицы, вылетевшей в счетчик, — это хорошо. Ток можно вывести из счетчика и послать, например, на какое-нибудь реле. Прошел этот ток через магнит,

магнит оттянул сердечник, удерживающий пружинку, та распрямилась — и хлопнула одна пластинка о другую.

Щелчок! Частица услышана!

Теперь сиди себе, считай щелчки — вместо того, чтобы, напрягая до боли глаза, считать бледные вспышки на экране.

Ведь это было наказание, когда сразу поступало много частиц и экран почти одновременно вспыхивал в десятках точек!

Пока что счетчик — такой простенький — выручает. Но погодите, придет время, и он проявит свои несовершенства. Он будет попадать в такие могучие потоки частиц, что не успеет с ними справляться. И тогда наблюдатель вместо аккуратного пощелкивания услышит захлебывающийся пулеметный треск!

Смена «судьи»

Да, счетчик явно не справляется. Он оказывается в положении финишного судьи, который мирно стоял на беговой дорожке и вдруг попал на кросс, где бегут тысячи спортсменов. Что ж, скажете вы, нужна автоматика.

Да, и она была создана. Но сначала предстояло улучшить самого «судью». Он оказался даже более несовершенным, чем это можно было думать в первое время его деятельности.

Прежде всего он, если так можно выразиться, «спал на ходу». Он добросовестно поднимал свой флажок, когда бегун грудью рвал ленточку, но забывал его опустить, причем на довольно долгое время. Если за первым бегуном быстро финишировал второй или даже несколько бегунов, то он их просто не засчитывал.

Легко понять почему. Помните, импульс заканчивался, лишь когда последние «жалобщики» — ионы — приходили на катод? Ужасно нерасторопными были они! Электронная лавина давно уже вся ушла в анод, а ионы все идут и идут. И, пока последний не дойдет, счетчик не засчитает появления следующей частицы.

И это еще не все. Под конец своего пути, подгоняемые электрическим ветром, жалобщики могли так «разъяряться», что, подлетая к катоду, сами начинали хищно срывать шкуры с атомов, мирно живущих в катоде. В газе появлялись новые электроны, возникала новая их лавина — на сей раз не вызванная никакой влетевшей частицей. В результате появлялся ложный импульс. Теперь можно было бы засчитать даже несуществующие частицы!

Тогда физики додумались: оборвать разряд сразу после того, как электронная лавина долетит до анода! Обойдемся без медлительных ионов! А они тем временем воссоединятся с электронами, не поспевшими к аноду, — и счетчик снова готов к работе.

Так было укорочено время бездействия счетчика, метко названное мертвым временем. И, что важно, это мертвое время теперь стало точно известно. Отныне, даже если частицы и попадали в счетчик, когда он «спал», можно было примерно подсчитать и их число, зная, сколько времени счетчик «спит», а сколько «бодрствует».

А нерасторопное реле, которое захлебывалось треском от непосильной нагрузки, заменили электронными приборами, которые «выдавали» сразу число засчитанных частиц. Сейчас этот треск можно послушать только ради быстропроходящего любопытства. А глаз — тот нужен только для того, чтобы прямо считывать показания прибора.

Неугомонные физики, однако, захотели большего. Они захотели возложить на судью еще обязанности секундометриста, чтобы тот определял и скорость, а с нею — энергию влетевших частиц. В атомном мире это можно было сделать. Ведь число содранных шкур, при одном и том же числе зверей, попавшихся на пути хищника, зависит от его «силы». Чем хищник энергичнее, тем больше зверей он задерет, пока не выдохнется до конца.

Иными словами, чем энергичнее частица, влетевшая в счетчик, тем сильнее будет импульс от электронов, попавших на анод. Но тогда уже не годится лавина, возникающая в счетчике Гейгера. Она оказывается одной и той же, независимо от того, создана она десятком или сотней первых электронов, содранных влетевшей в счетчик частицей.

Такой счетчик отметит появление частицы, но он совершенно равнодушен к тому, с какой скоростью она пролетела сквозь него. Пробудить у счетчика интерес к этому, однако, нетрудно: нужно лишь немного сбавить напряжение на его электродах. И этого достаточно. Тогда импульс будет пропорционален энергии влетевшей частицы. А сам счетчик получает название пропорционального. Он был придуман Гейгером и Марсденом еще раньше, чем тот счетчик, который мы описали выше.

Не только слышать, но и видеть

Удовлетворится ли человек посылкой автоматических станций в космос? Достаточно ли ему будет обмениваться «радиопрограммами» с обитателями других звездных миров, как о том повествует писатель-фантаст в «Туманности Андромеды»? Скорее всего — нет. Жадное человеческое любопытство требует: пощупать своими руками! Увидеть своими глазами!

В атомном мире пощупать ничего нельзя. Бесстрастное пощелкивание счетчика вполне может удовлетворить физика. Но в каждом физике живет еще человек. И человек куда более любопытный, чем многие из его окружающих.

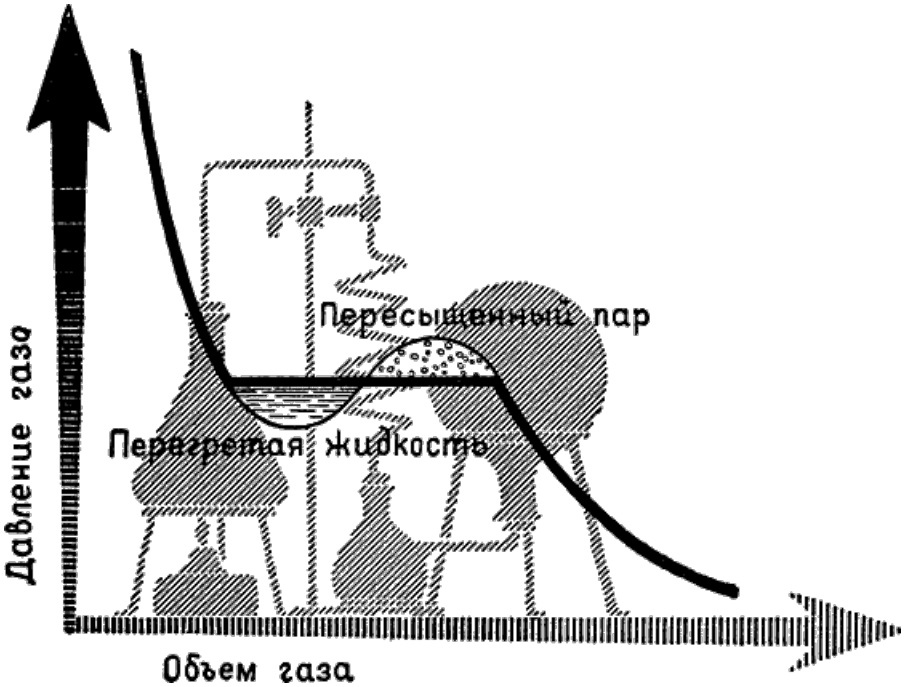
Пощупать нельзя. А увидеть? Такая мысль уже не один год волнует Чарлза Вильсона. Всему виной давно открытое им явление. Мы о нем уже рассказывали: если из газа убрать пылинки, то газ можно заставить конденсироваться на ионах. Правда, для начала его нужно перевести в состояние пересыщенного пара.

Помните коротенький раздел «Изотермы реального газа» из школьного курса физики? Если и забыли, то не беда: все равно придется вспомнить. Есть у газа такое неустойчивое состояние, как пересыщенный пар.

Обычный насыщенный пар легко конденсируется в капельки жидкости при понижении температуры. Примером тому запотевшие стекла или роса. Это высадился на холодную поверхность водяной пар из воздуха.

Но если насыщенный пар не подводить к низкой температуре, а охладить «рывком», то он может и не перейти в жидкость, а остаться паром. Но это состояние столь же неустойчиво, как положение неукрепленного камня на склоне горы.

Небольшой толчок — и вниз летит уже каменная лавина. Такой толчок дают пылинки в пересыщенном паре. На них-то и начинается быстрая конденсация пара. И такой же толчок, как выяснил Вильсон, могут создавать ионы. Тогда в сосуде быстро образуется туман из медленно оседающих мельчайших капелек жидкости. Туман такой же густой, как знаменитые лондонские туманы, столь ненавистные англичанам.



По мере увеличения давления пара его объем изменяется по жирно начерченной кривой. В левой части кривая относится к пару, в правой — к жидкости. Если давление повышать плавно, то пар, дойдя до горизонтального участка кривой, пройдет по нему и постепенно сконденсируется в жидкость. Если же давление изменить рывком, то пар может оказаться в неустойчивом пересыщенном состоянии. В таком состоянии пар и находится в камере Вильсона при внезапном расширении ее объема. Аналогичным путем можно перевести жидкость в столь же неустойчивое перегретое состояние. Перегретая жидкость используется в пузырьковых камерах, описанных в главе 7.

Капельки тумана рассеивают свет — потому-то они и видны. А что, если…

Но надо рассказать по порядку. Наполним камеру жидкостью и подберем ее температуру так, чтобы в камере образовался насыщенный пар. Затем резко увеличим объем камеры, например отодвинем одну ее стенку. Температура резко упадет, пар станет пересыщенным.

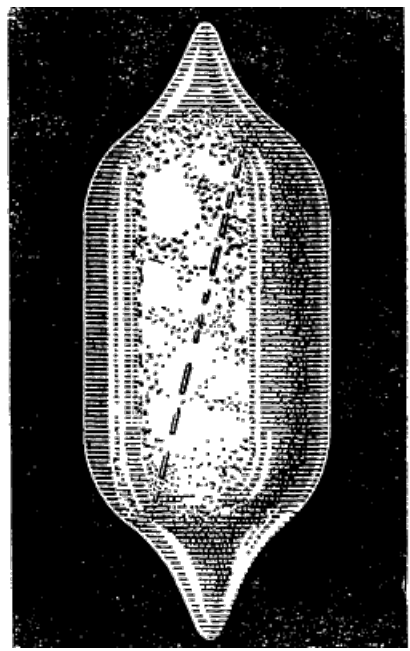
Если в этот момент в камеру влетит частица, то она вдоль своего пути образует цепочку ионов. На этих ионах осядут первые капельки воды.

Если теперь осветить внутренность камеры яркой вспышкой света… Быстро, пока ионы, подталкиваемые случайными ударами со стороны молекул пара, не разошлись в разные стороны.

Смотрите! Э, впрочем, не годится. Память — недолговечное хранилище для таких вещей. Давайте быстренько фотоаппарат. Выдержка — в тысячные доли секунды. Здесь не скажешь ионам: «Спокойно, снимаю!»

И все. Затем нужно проявить фотопластинку. Можно для удобства сделать с нее позитивный отпечаток.

А вот теперь смотрите. На пластинке во всю ее длину протянулся тонкий белый след. Это и есть след пролетевшей частицы. Она оставила его в виде цепочки ионов в камере Вильсона.



Такой «пунктирный» след в виде цепочки пузырьков жидкости, осевших на ионах, оставляет в камере Вильсона электрон.

Так физики «увидели» первую частицу. Увидели, конечно, не саму ее. Предстоит вам еще прочитать разочаровывающие строки, из которых вы узнаете, что увидеть даже с помощью приборов ни одной атомной частицы нельзя…

Но вот след, оставленный частицей, увидеть можно. Он и запечатлен на фотопластинке.

Однако считайте, что вам повезло. Частица соблаговолила

влететь в камеру в тот момент, когда камера сработала. Влети она немного раньше или немного позже — на фотопластинке ничего не обнаружить.

Камера Вильсона — это капкан, захлопывающийся вслепую. Словно охотник пожелал ловить зверя капканом, который захлопывался бы, скажем, раз десять в час. А вдруг зверь сунет в него ногу именно в это время!

Но, как известно, все капканы устроены иначе. Они срабатывают только от зверя, а не подобно пасти кота, когда он охотится за мухами. Физикам и предстояло соорудить такой капкан. Одной пружины — камеры — оказалось мало. Нужна была еще доска, наступив на которую зверь освободил бы пружину. Такой доской стал счетчик.

Телескоп направлен на… Землю

Летела себе частица, и никому до нее не было дела. Разбегались с ее пути покалеченные атомы, и наконец, стал на дороге счетчик Гейгера. Прошла частица сквозь него, понеслась электронная лавина к аноду, побежали «жалобщики»-ионы к катоду. И электрический импульс дал знать камере о прилете частицы.

«Вот мы ее сейчас… сфотографируем!» — включила камера лампы-вспышки. И сфотографировала… пустое место. Летела частица — да не через камеру. Через счетчик проскочила, а камеру миновала: не по дороге.

И в самом деле, очень часто вовсе не по дороге. Скажем, прилетела частица в счетчик сверху, а камера стоит сбоку.

Загнать счетчик в камеру? Невыполнимая задача. Чем меньше в камере «всяких посторонних» предметов, тем легче, точнее и лучше она работает.

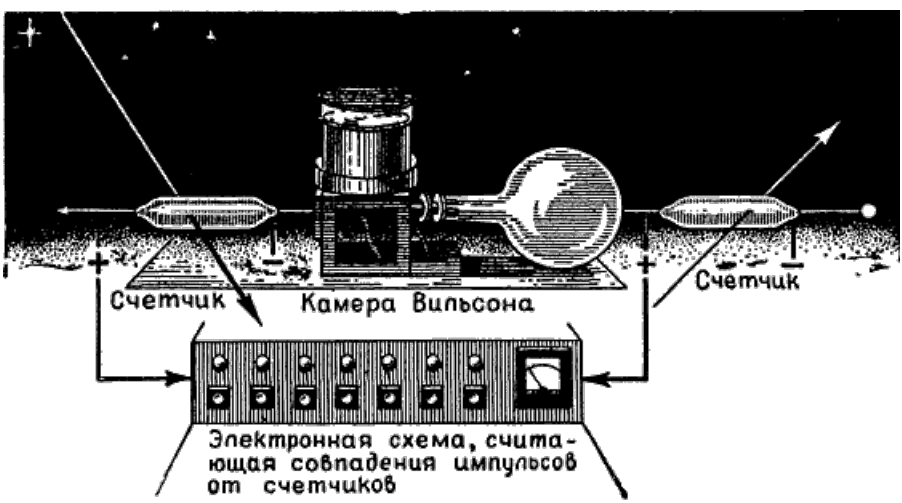
Да и не нужно, чтобы камера считала все частицы, которые в нее попадают. Но такую фразу физики получили право сказать лишь много лет спустя, когда досконально изучили многих гостей, побывавших в камере, когда визитные карточки этих гостей смогли многое рассказать об их природе и свойствах. А пока что каждый гость дорог, и камера готова широко раскрыть свои гостеприимные объятия.

Но раскрывать свои объятия каждый раз, когда слышатся шаги за дверью дома, хлопотно и даже неприятно. Надо подождать, пока раздастся звонок.

И этот звонок дает… второй счетчик. Он установлен вслед за первым так, что частица, пройдя через оба счетчика, должна неминуемо побывать в камере. Причем звонок последует только в том случае, если импульсы в обоих счетчиках возникнут практически одновременно.

Даже на людной улице маловероятно, чтобы у дверей дома послышались одновременно шаги двух людей, идущих не к вам. Так и в счетчиках: вероятность того, что в один из них попадет одна, а в другой одновременно другая частица, даже в обильном потоке частиц весьма невелика.

Когда физики хотят избавиться и от этого неприятного совпадения, то ставят друг за другом даже три счетчика. Тогда уже совпадение становится почти невероятным. Такая комбинация счетчиков оправданно названа телескопом. Она выделяет частицы, следующие по вполне определенному направлению. Так же, как телескоп улавливает свет от какой-то одной звезды, а не от всего небосвода сразу.



На этом рисунке два счетчика Гейгера, установленные спереди и сзади камеры Вильсона, образуют телескоп счетчиков. Из великого множества световых лучей, идущих по всевозможным направлениям, обычный телескоп отбирает только те, которые распространяются по данному направлению, например от выбранной для наблюдения звезды. Так и телескоп счетчиков отбирает из множества частиц, летящих по всевозможным направлениям, только те, что испускаются определенным источником и должны неминуемо пройти через камеру.

Итак, к вам пришли: счетчики дали звонок. Теперь можно раскрывать объятия. Но кому? Пока сигнал от счетчиков дошел до камеры, пока вспыхнул свет, частицы… — чуть было не сказал: «и след простыл». Нет, след, который оставила частица в охлажденной при расширении камере, «горячий».

Но поторопитесь, он быстро «остывает», уже через считанные доли секунды колонка ионов, на которую осели капельки сконденсировавшегося пара, теряет свои стройные очертания. А камера наполняется настоящим туманом: конденсация идет полным ходом.

Что ж, меры приняты: сработала быстродействующая автоматика. Получен хороший, интересный снимок.

А камера тем временем снова готовится к работе. Прежде всего из нее надо убрать ионы и туман. Производится поджатие, камера возвращается к исходному объему и температуре. Ионы высасываются из объема небольшим вспомогательным электрическим полем (чтобы никаких лавин и «разъяренных жалобщиков» не было — это только затягивает время подготовки камеры). Теперь можно производить новое расширение, и камера снова готова раскрывать свои «фотообъятия».

Телескоп счетчиков можно сориентировать в любом направлении, направить на любую точку неба… и Земли. Что касается Земли, то она так же мешает изучению космических лучей, как сами эти лучи мешают измерениям «земной» ионизации. Помните? — с этой помехи все и началось.

Да, к сожалению, телескоп счетчиков имеет неприятное отличие от обычного телескопа. Он, вроде двуглавого орла, одновременно смотрит направо и налево, или вверх и вниз. Он одинаково чутко отзывается на частицы, пришедшие как по данному, так и в точности противоположному направлению. Иными словами, он не позволяет отличить частицу, пришедшую из какого-нибудь атома урана, запрятанного в земной толще, от частицы, прилетевшей из неведомых космических глубин.

Однако можно на один «глаз» телескопа надеть «шоры». Кстати, физики так и делают: экранируют телескоп снизу толщей свинца, который хорошо поглощает «земное» радиоактивное излучение.

Камера дает первый урожай

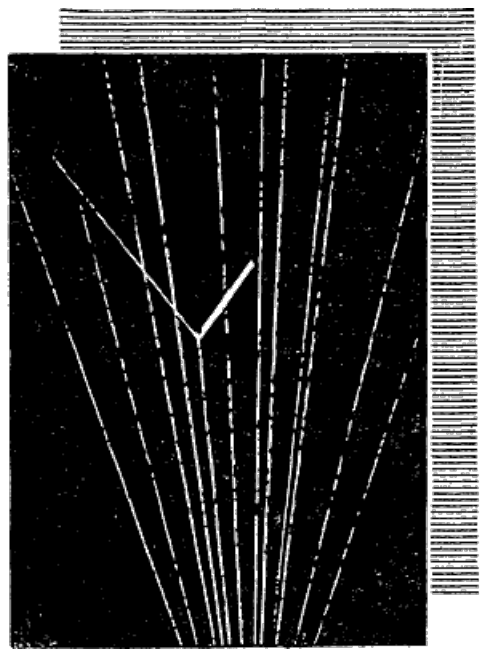
Но вот исследователь направляет телескоп на Землю.

Неподалеку от телескопа он располагает радиоактивный препарат, в стенке камеры делает небольшое окошечко и закрывает его тонкой металлической пластинкой.

На пластинку падает пучок альфа-лучей от препарата. Толщину ее можно подобрать так, что все бета-лучи застрянут в пластинке. Это — для той же чистоты опыта.

Собственно говоря, на первых порах исследователь обходится даже без придуманного позже телескопа. Он помещает радиевый препарат вплотную к стенке камеры. Альфа-частиц много, и добрая их половина влетает в камеру.

Опыт, конечно, затягивается. Еще никакой электроники нет, и камера, бывает, срабатывает впустую. Но вот на одной фотографии исследователь — его можно назвать Эрнест Резерфорд — замечает любопытное явление. Один след в веере жирных следов альфа-частиц как бы расщепился надвое.



Фотография первой увиденной человеком ядерной реакции. В широком веере альфа-частиц, падающих снизу на камеру Вильсона, одна частица налетела на ядро азота и на мгновение слилась с ним. Спустя это мгновение вправо отлетело новообразовавшееся ядро кислорода, оставив короткий жирный след. Влево понесся протон.

Такое впечатление, как будто альфа-частица распалась на две. Но это обманчивое впечатление. За добрых двадцать лет

работы с этими частицами Резерфорд ни разу не замечал, чтобы они дробились. Но зато он в первый раз в своей жизни заметил, как они разбили — что?

Ядро атома азота! К такому выводу приходит ученый после тщательного анализа снимка. Альфа-частица встретилась в полете с ядром атома азота, которых полным-полно в камере, и превратила его в ядро кислорода. А излишек энергии поделили между собой это новое ядро и освободившийся из атома протон.

Понял ли ученый всю важность своего открытия? Наверное, понял: Резерфорд был дальновидным ученым. А открыл он не много не мало, как первую ядерную реакцию. Мечта средневековых алхимиков свершилась: один химический элемент «на глазах» превратился в другой.

Хотя, присутствуй при этом открытии алхимики, они были бы явно разочарованы: превращение происходило с ничтожными, почти невесомыми количествами вещества. Англичанин Патрик Блеккет, повторив опыт Резерфорда, сделал и изучил двадцать с лишним тысяч фотографий. На них оставили след более пятисот тысяч альфа-частиц.

Но только восемь из них попало в ядро азота и превратило его в ядро кислорода! Слишком «пустотелая» мишень — атом. Слишком мала запрятанная в его недрах цель — ядро.

Однако алхимикам пришлось бы ждать недолго: спустя четверть века философский камень современных алхимиков, попав в злобные руки, превратился в расплавленные чудовищным жаром камни Хиросимы!

И только спустя еще несколько лет этот камень в поистине добрых руках советских людей стал творить во все возрастающем количестве золото нашего века — атомную энергию.

Добрый посев Вильсона дал первый урожай. Чудесная камера стала настоящим окном в сокровенный атомный мир.

Но окном, которое открывается слишком редко, а открывшись, позволяет увидеть не так много, как хотелось бы, сетовали физики. Малое число рабочих циклов: львиную долю времени отнимает только подготовка камеры к работе. Малая плотность газа, а значит, путь частицы проходит скорее не по лесу, полному зверей, а словно в пустыне. Частица, пролетевшая насквозь всю камеру и ни разу не столкнувшаяся ни с одним ядром, что толку от нее?

Вы слышите? Это уже новые голоса. Это говорят физики-ядерщики — молодое поколение ученых, взращенное на открытиях Резерфорда. Уже идут двадцатые годы, и на передний край физики начинает выходить самая сокровенная «деталь» атома.

Но в их хоре можно слышать и голоса «космиков» — исследователей космических лучей. Им тоже хотелось бы иметь в своем распоряжении постоянно действующую камеру, в которой ядра были бы «напиханы» гораздо плотнее, чем в паре.

Значит, нужно «камеру» сделать из твердого вещества — оно в тысячи раз плотнее газа. Но как сделать, чтобы оно было чувствительно ко всем этим электронам, протонам и альфа-частицам?

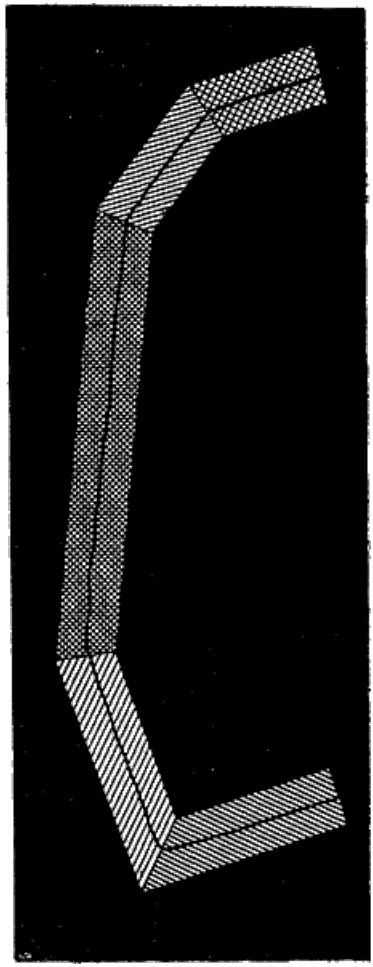
Где взять это вещество?

А оно давно уже придумано — это фотографическая эмульсия. То, что на нее действует не только свет, а и радиоактивное излучение, тоже давно открыто. Именно случайно обнаруженная засвеченная фотопластинка, лежавшая по соседству с урановой солью, и позволила Анри Беккерелю открыть радиоактивность.

Что же осталось? Только сделать слой фотоэмульсии на стеклянной пластинке потолще: чем больше ядер встретила частица на своем пути, тем больше вероятность, что она столкнется хотя бы с одним из них. Это и предлагает в начале двадцатых годов молодой советский физик Лев Александрович Мысовский.

Так родились толстослойные, как их называют, фотопластинки, на которых запечатлевают свои следы частицы. Но разглядеть эти следы теперь не так просто, как на фотографии, сделанной в камере Вильсона. Их приходится рассматривать «по частям». Частицы уходят и в глубь фотоэмульсии.

Пришлось изучать следы частиц так, как это делают биологи, изучая живые клетки: резать эмульсию после проявления на тоненькие слои и каждый слой изучать отдельно. А затем сопоставлять друг с другом то, что найдено на последовательных слоях.



Вот из таких «обрезков» фотоэмульсии после ее проявления и составляется след влетевшей в нее частицы. Для этого фотоэмульсию надо разрезать на тоненькие слои, и те кусочки, в которых прослеживается путь интересующей частицы, тщательно подогнать друг к другу.

Неудобно, скажете? Согласен. Тем паче, что для воссоздания цельной картины приходилось привлекать пространственное воображение, а это у многих людей сопряжено с большими усилиями. Но зато число всяких интересных событий резко возросло. А со временем физики придумали рассматривать срезы с фотоэмульсией через пару зеркал, перпендикулярных друг другу, и сразу получать картину следа в пространстве. Теперь задача «реконструкции» следов частиц по их «обрезкам» значительно упростилась.

Ионизационные камеры, счетчики Гейгера, пропорциональные счетчики, камеры Вильсона, фотографические эмульсии… За каких-нибудь пятнадцать лет «космики» обзавелись солидным экспериментальным хозяйством. Можно было начинать «штурм космоса».

Героическая эпоха

И штурм начался. Бес странствий и приключений словно вселился в физиков. Не преувеличивая, пользуясь словами Пьера Оже, можно это время назвать «героической эпохой» в исследовании космических лучей.

Со своими сложными и хрупкими приборами физики лезли под огромные соляные кучи в солеварнях, уходили в катакомбы под большими городами, дрожали от пронизывающей сырости в глубоких рудниках и шахтах, задыхались в непривычных водолазных костюмах на дне озер и морей, поднимались на заснеженные горы, взлетали на аэростатах и самолетах.

И порой расплачивались собственными жизнями за стремление побольше знать. В седой кремлевской стене покоится прах трех отважных советских исследователей — Усыскина, Васенко и Федосеенко. Они погибли при аварии стратостата, на котором в 1934 году поднялись на высоту 22 километра, чтобы исследовать интенсивность потоков космических лучей на больших высотах.

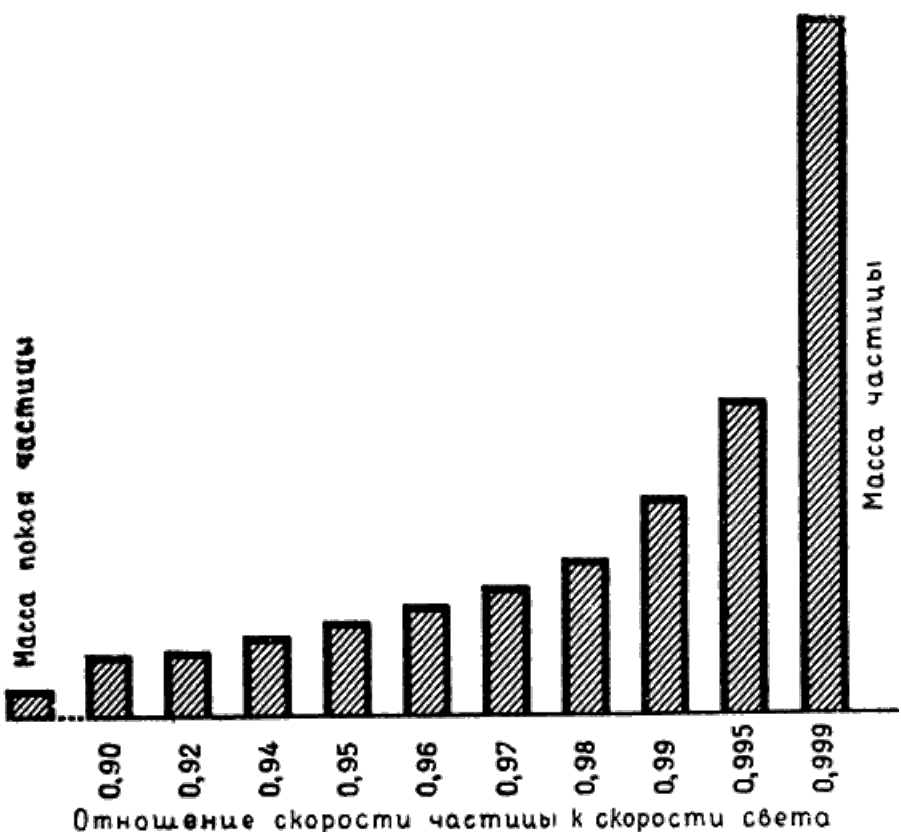
Обжигались у негреющего космического огня и те ученые, которые месяцами и годами не сходили с высочайших горных пиков. Они хотели знать, зависит ли поведение космических лучей от смены дня и ночи, от погоды, от сезона, один и тот же ли поток падает из космоса на Землю весной или осенью, в этот и в следующий год. Что ж, космические лучи открывали эту тайну. Но они несли в себе зародыши и других жутких тайн. Ученые внезапно заболевали белокровием, количество лейкоцитов в их крови угрожающе возрастало. Иногда не помогали самые героические меры, и люди погибали. У других в зрелые годы вдруг снова начинали расти кости. Молодые цветущие люди сходили с гор навеки обезображенными.

Да, это было сродни язвам на руках Пьера и Мари Кюри, годами работавших с радиоактивными препаратами. Сегодня мы уже знаем, что это такое — лучевая болезнь! В те годы ученые еще не знали, что исследование сильнопроникающих излучений

— занятие, вовсе не безопасное для организма человека…

Знаменитый швейцарский исследователь Огюст Пикар не доверял инженерам. Он сам разрабатывал и строил те корабли, на которых затем исследовал космические лучи. В начале тридцатых годов он одним из первых поднялся за двадцатикилометровый рубеж на своем воздушном шаре. Несколько лет спустя он первым погрузился в морскую пучину на несколько километров в удивительно прочной батисфере. Еще никому на земном шаре не удалось повторить подвиг Пикара, сделавшего почти тридцатикилометровый «разрез» через воздушный и водный океаны Земли.

Что ж, добытые результаты стоили подвига не только научного, но и просто человеческого. Выяснилось, что интенсивность космических лучей сравнительно медленно спадает по мере приближения к поверхности Земли. Да и сама «твердь земная», являющаяся отличной защитой от радиоактивных излучений, не в состоянии полностью задержать космические лучи. Их можно было обнаружить и в самых глубоких шахтах.

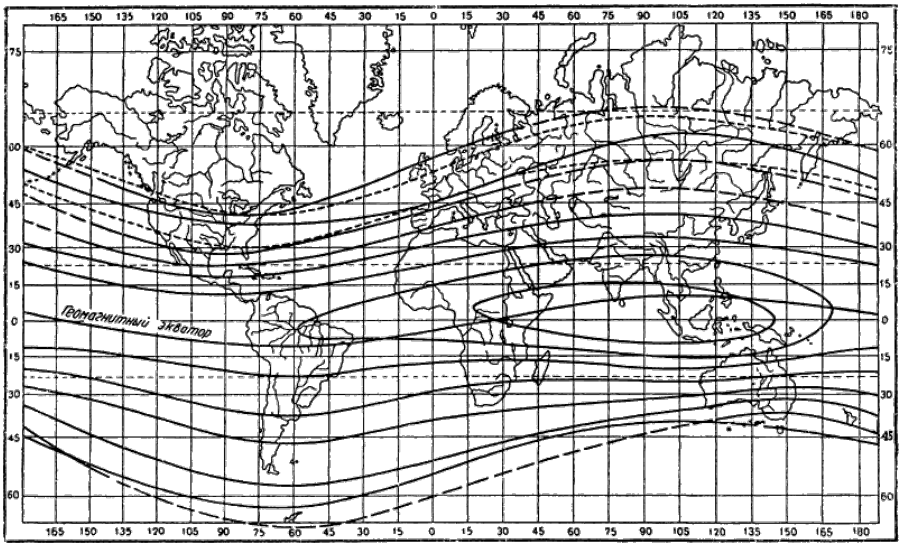


Этот рисунок отчетливо показывает то удобство, которое достигается при переходе от шкалы скоростей к шкале энергий частиц. При скоростях частиц, близких к скорости света, значение скорости может измениться лишь на какой-нибудь десяток процентов. Энергия и масса же частиц при этом (вертикальные столбики) может измениться в десятки и даже в сотни и тысячи раз.

Тем временем родилась новая разновидность «космиков» — кругосветные путешественники. Они колесили по земному шару вдоль и поперек в буквальном смысле слова — то есть и по широтам и по меридианам. С каждым годом все более рассеивался туман неопределенных результатов, неоправданных догадок. И наконец стало ясно, что космический град обдувает Землю совсем не так равномерно и постоянно, как это казалось первым исследователям.

Американский физик Артур Комптон составил карту того, как распределяется космический град по поверхности земли. Она немного похожа на те карты, которыми пользуются синоптики для предсказания погоды. Только на этой карте сплошные линии охватывают точки не с одинаковым атмосферным давлением, а с одинаковой интенсивностью космических лучей. А рядом с ними Комптон нанес на карту пунктирные линии, связывающие пункты с одинаковой напряженностью земного магнитного поля.

И оказалось, что сплошные линии довольно хорошо следуют ходу пунктирных линий. Это могло означать одно: важнейшей причиной неравномерности космического облучения Земли служит ее собственное магнитное поле. Магнитный ветер сбивает в сторону космический град.



На карте Земли Комптон провел сплошные линии через точки, в которых по его измерениям интенсивность космических лучей оказалась примерно одинаковой. Эти линии были названы изокосмами. Легко видеть, что они идут почти так же, как пунктирные линии, соединяющие точки с равной силой земного магнитного поля. Из этого и был сделан вывод, что магнитное поле Земли сильно влияет на приходящие к ней космические частицы. А отсюда — один шаг до заключения, что в составе космических лучей присутствуют электрически заряженные частицы.

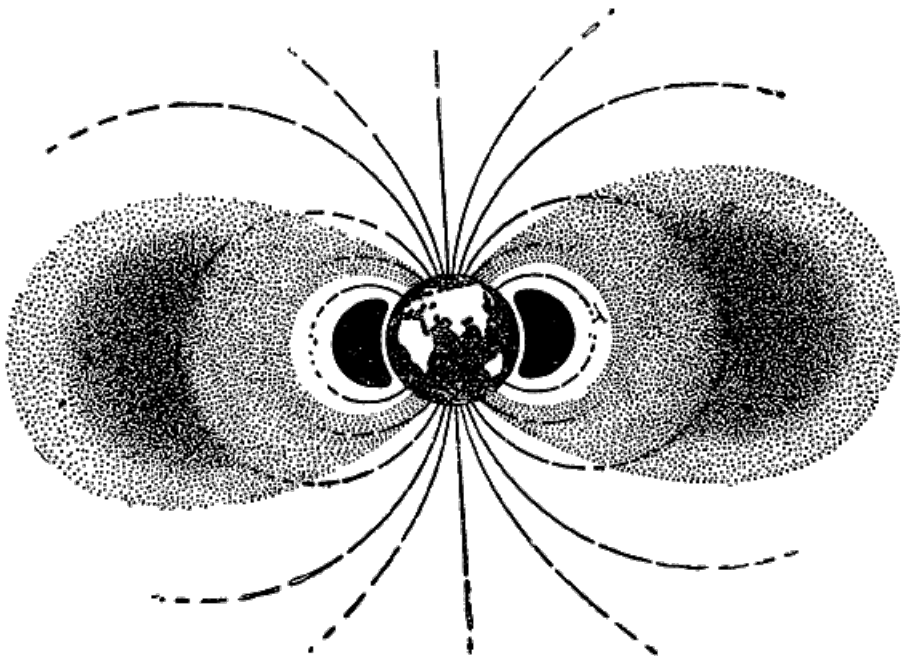
Физики приняли этот вывод с удовлетворением. Они уже давно знали, что в составе космических лучей присутствуют электрически заряженные частицы. Эти частицы неминуемо должны отклоняться в сторону от исходного направления полета, попадая в магнитное поле.

Теперь, зная силу магнитного поля Земли, по этому отклонению можно было судить о скорости космических частиц. Подсчет дал колоссальную цифру — скорость их лишь совсем немного отличалась от скорости света.

С такими значениями скорости физикам стало неудобно работать. Уже задолго до того теория относительности предсказывала, что в околосветовой области даже незначительному увеличению скорости будет отвечать гигантский прирост энергии частиц. Физики перешли к более растянутой, а значит, более удобной для измерений и расчетов шкале энергий.

И стали выражать ее в особых единицах — электрон-вольтах. Сама по себе эта единица невелика — лишь около одной триллионной доли эрга (а сам эрг — тоже «комариная» энергия). Но не забудем, что ею обладают частицы с массой в триллион-триллионные доли грамма.

Частицы космических лучей имеют энергии порядка миллиардов электрон-вольт и даже более. Если бы такой энергией обладала, скажем, каждая частица летящего камешка, то его остановка была бы равносильна взрыву водородной бомбы.



Так выглядят по сегодняшним представлениям радиационные пояса Земли — ловушки космических частиц. Во внутреннем поясе, простирающемся на высотах примерно от 600 до 6000 километров, живут в основном протоны с энергиями до сотен миллионов электрон-вольт. Во внешнем поясе, удаленном от Земли на 20–60 тысяч километров, существуют в основном электроны с энергиями до миллионов электрон-вольт. Длительное пребывание в этих поясах связано с серьезной опасностью для здоровья космонавтов. Поэтому в будущем выход людей в межпланетное пространство будет, видимо, осуществляться вблизи магнитных полюсов Земли (они не совпадают с географическими полюсами), где радиационные пояса наиболее тонки.

Легко представить себе, какие он произвел бы разрушения. И столь же нетрудно понять, какие разрушения производят космические частицы в атомном мире.

В космических лучах есть однако не столь энергичные частицы. Магнитное поле Земли указывает им «от ворот поворот», но не выпускает их обратно в космос. Подлетая к Земле, космический град попадает словно в мешок. Более энергичные частицы пробивают стенки мешка и достигают Земли, а менее энергичные остаются в мешке, где и пребывают весьма длительное время.

Несколько лет назад первые рисунки этого мешка, напоминающего по форме баранку, обошли страницы всех газет. Это знаменитые радиационные пояса, которые удалось обнаружить уже при первых запусках искусственных спутников Земли!

Выяснили физики и то, что интенсивность космического града нерегулярно колеблется во времени — варьирует, как говорят ученые. Уже почти сорок лет изучаются эти вариации. От чего они только не зависят! От атмосферных условий, от географического положения места наблюдения, от времени суток и года, от активности Солнца — мы перечислили лишь малую долю всех факторов. Расшифровать тайный смысл этих вариаций оказалось настолько трудным делом, что оно далеко не закончено и поныне. Здесь физикам работы еще на много лет вперед!

Но эта работа исключительно интересна. Именно она позволит ответить на вопрос, откуда берутся космические лучи. Это доподлинно пока еще неизвестно. Некоторый пай в общий котел — в основном в виде не очень энергичных частиц — вносит наше Солнце. Более же энергичные градины прилетают из неведомых глубин нашей звездной системы — Галактики, а быть может, и из еще более далеких и грандиозных межгалактических просторов.

Иногда в космический град затесываются частицы с совершенно чудовищными энергиями в миллиарды миллиардов электрон-вольт. Где они образовались, где ускорились до столь фантастической энергии? Сегодня на это еще нет окончательного ответа.

Но когда он будет получен, физикам радостно пожмут руки астрономы. Ибо тогда Вселенная, просвеченная космическими лучами «собственного изготовления», раскроет глубочайшие загадки своего строения!

Перед новым штурмом

Мы — на пороге тридцатых годов нашего века. Заканчивается первый этап «героической эпохи» в изучении космических лучей.

Получено немало. Выяснено, как ведут себя космические лучи в магнитном поле Земли. Удалось примерно установить, какими энергиями обладают космические частицы. Физики узнали, как космические лучи проходят через воздух, горные породы.

Все яснее понимают они, что, видимо, должны быть первичные и вторичные космические лучи: град частиц, приходящих из глубин Вселенной, должен претерпевать изменения при прохождении через атмосферу, рождать в ней потоки «земных» частиц. Мы ведь живем на дне воздушного океана. «Чистые» космические лучи, достигая этого дна, должны обязательно «загрязняться» примесью частиц, выбитых ими из атомов земной атмосферы. Как отделить друг от друга «истинные» космические лучи и их примеси? Физики тридцатых годов этого пока не умеют.

Все яснее видят они, что космические лучи, достигающие земной поверхности, как будто неоднородны, состоят из разных частиц. Одни частицы проникают глубоко в толщу Земли, тогда как другие задерживаются уже в тонком ее слое. Разные ли это частицы или одинаковые, но с существенно разными энергиями? И этого еще не ведают ученые в те годы.

И, наконец, что́ это за частицы? Вероятно, протоны и электроны, может быть, еще и гамма-лучи — больше ничего ведь быть не может.

Уже получены многие тысячи фотографий следов космических лучей. Читатель может удивиться. В те годы космические лучи были такими же, как и сегодня. Почему же в них тогда не были открыты десятки частиц? Ведь они ясно давали о себе знать!

Что ж, на это можно ответить так: и тысячу лет назад свет был таким, как сегодня. Однако же не открыли тогда, что он состоит из фотонов!

Одной зоркости зрения мало. Нужна еще зоркость мысли. Глаз видит то, что ищет ум. А головы теоретиков в те годы еще не искали новых частиц. Пока что им хватало уже открытых. Первую картину атомного мира можно было сложить и из этих частиц.

Но подождите немного. Уже близко то время, когда теоретикам начнет не хватать известных частиц. Тогда они скажут экспериментаторам: «Ищите новые частицы!» И даже укажут им, что приблизительно надо искать.

И пойдут экспериментаторы в толпу космических лучей,

вооруженные, как детективы, лишь словесными портретами разыскиваемых частиц. И разыщут они почти все то, на что им указали теоретики. Найдут они еще много того, чего теоретики никак не предсказывали. И сядут тогда теоретики, мучительно сжав голову ладонями, чтобы понять, откуда явились незваные гости.

Капканы совершенствуются

Но все это еще далеко впереди.

А пока из «красной России» приходят удивительные научные известия. О них сообщает в журнале Академии наук молодой советский физик Дмитрий Владимирович Скобельцын.

Прежде всего он додумывается поместить камеру Вильсона между полюсами сильного магнита. Результат этого мы уже можем предвидеть. Космическая частица, успешно преодолевшая ветер земного магнитного поля, часто оказывается бессильной противостоять магнитному ветру в камере: этот во многие тысячи раз сильнее земного. И частица сворачивает на кривую дорожку.

А дальше? Дальше можно повторить все те измерения, которые когда-то привели Томсона к открытию электрона. Прежде всего, измерив кривизну следа частицы в камере, можно определить отношение величины заряда к массе частицы. А считая, что частица несет на себе единичный электрический заряд (равный по величине заряду электрона), можно вычислить массу частицы.

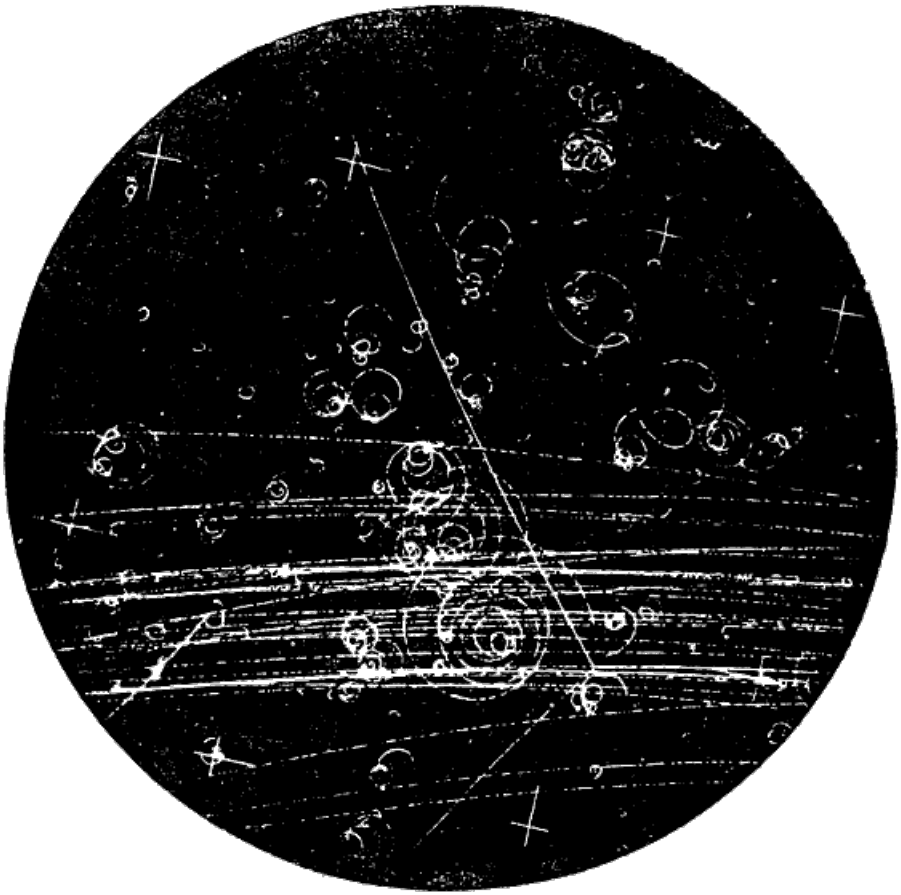
Кривая должна говорить, однако, о большем. Магнитное поле искривляет пути положительно и отрицательно заряженных частиц в разные стороны. Значит, по тому, как искривлен след, можно сразу сделать заключение и о знаке заряда частицы.

Наконец, зная, что за частица влетела в камеру — об этом сообщают характерные свойства ее следа, жирный ли, прерывистый ли он, — ученый может по известной массе определить энергию частицы. А это исключительно важно.

Так след космической частицы становится источником важной информации о ее свойствах.

Но часто встречаются и такие энергичные космические частицы, что даже сильнейшее магнитное поле в камере не в состоянии сбить их с пути. Следы таких частиц простираются в камере от стенки и до стенки, совершенно прямые, одинаково тонкие или одинаково неплотные. О чем же это говорит? О том,

что частица растратила в камере лишь ничтожную долю своей колоссальной энергии.



Так закружило не очень энергичный электрон магнитное поле в камере Вильсона. Электрон, выбитый из атома космической частицей, получил от нее в полет энергию порядка тысячи электрон-вольт. Постепенно растрачивая эту энергию в столкновениях с атомами газа, он описал суживающуюся спираль. Подсчитывая число следов таких, как их назвали физики, дельта-электронов и начальный диаметр витка спирали, можно узнать, какую энергию потеряла космическая частица в камере.

Торопливая частица пролетела камеру насквозь, не задерживаясь в ней. А поймать ее было бы очень интересно.

Но как это сделать? Космические частицы достигают Земли, пусть растеряв часть своей энергии в атмосфере, все же далеко не

на излете. Даже смешно думать, что тонюсенький слой газа в камере смог бы в этом отношении конкурировать с многокилометровой толщей атмосферы Земли.

Поднять давление газа в камере до тысяч атмосфер? Трудно, но в принципе можно. Однако это даст лишь то, что метровый слой газа в камере сравняется с километровым слоем воздуха. Все равно — этого слишком недостаточно.

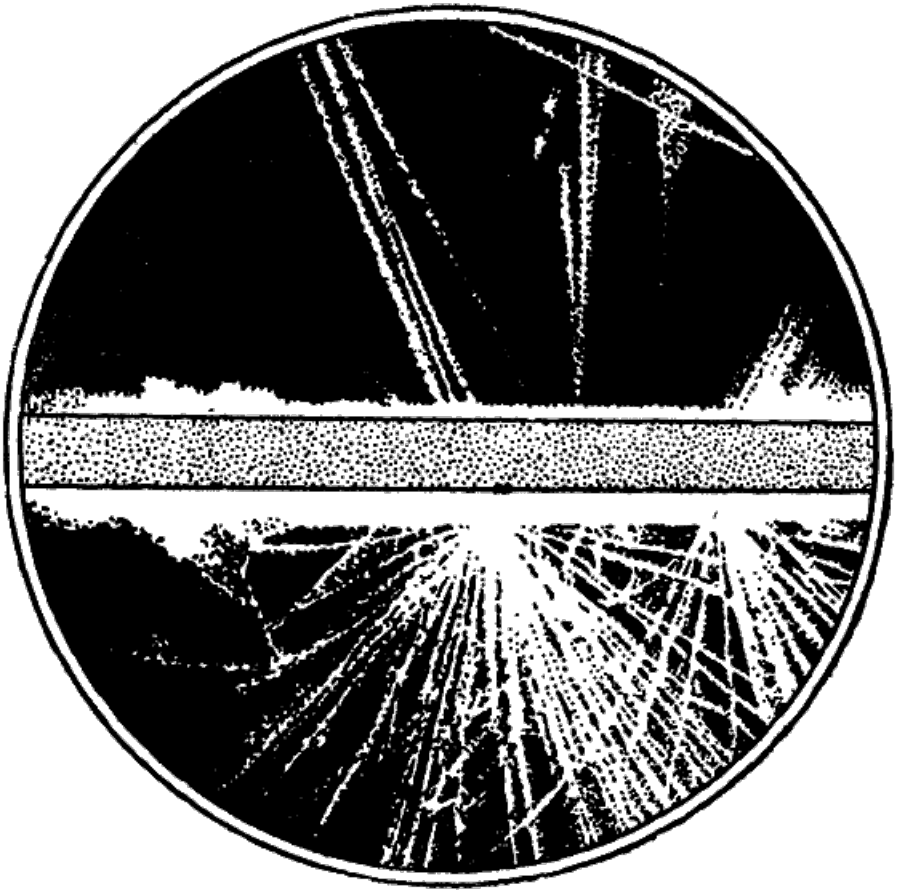
Космические лучи неплохо задерживаются тяжелыми металлами, атомы которых насчитывают на своих оболочках многие десятки электронов. Например, свинцом.

А раз так, то можно в камере Вильсона сделать свинцовые переборки. Одну, другую, третью. Даже если частица проскочит через все переборки, она в конце концов сильно замедлится.

Вот в камеру влетает частица, вспыхивает лампа, фотоаппарат срабатывает. И первые же снимки оправдывают ожидания. Даже больше — на них видны целые грозди следов частиц. Немногочисленные у первой переборки, на которую упала частица, затем они быстро ветвятся, и вот уже с переборок свисают целые кусты из многих десятков и сотен следов.

«Снопы частиц», — называет их Пьер Оже, уроженец солнечной Франции.

«Ливни частиц», — предлагает Патрик Блеккет, житель дождливой Англии. Это название — «ливни» — и закрепляется за удивительным явлением. Может быть, ливни побеждают еще и потому, что немного спустя это явление обнаруживают и в атмосфере. А это уже более близкое сравнение.



Ливень вторичных частиц, образованных энергичной космической частицей в свинцовых перегородках камеры Вильсона. Изучая число «струй» в таких ливнях от перегородки к перегородке, можно в конце концов оценить энергию космической частицы. Она наверняка составит многие миллиарды электрон-вольт.

Ливни в камере Вильсона — лишь жалкое подобие атмосферных ливней, в которых рожденные одной космической частицей и бурно размножающиеся потоки миллионов вторичных частиц летят на Землю.

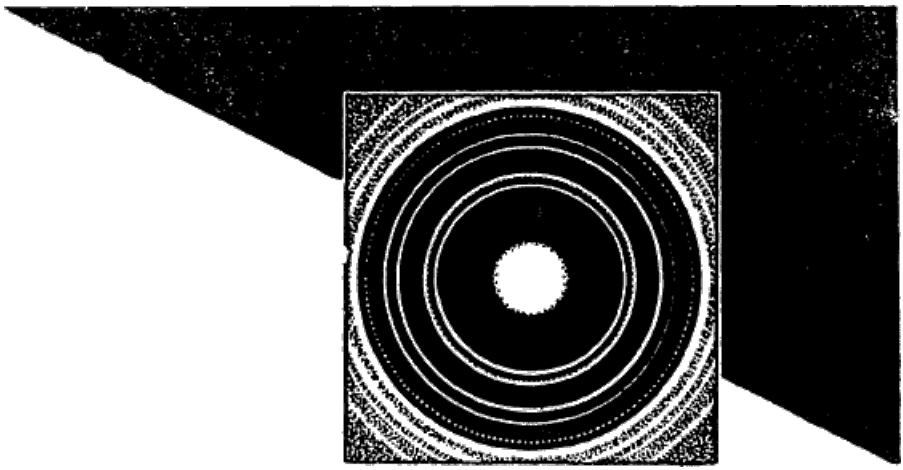
— Подумать только, — восклицает Пьер Оже, — что такие ливни непрерывно возникают в нашем собственном теле! Ежеминутно в наше тело проникает около тысячи космических частиц, а за этот промежуток времени в тканях нашего тела возникают сотни ливней, о которых мы не имеем ни малейшего представления.

Не имели — правильнее сказать. К концу двадцатых годов

физики такое представление получили.

Что ж, можно начинать настоящий штурм космических лучей. Но для этого необходимо подтянуть теоретические тылы. Со времени создания Резерфордом и Бором замечательной теории атома прошло почти двадцать лет. И за эти годы старую теорию не узнать, настолько она изменилась и обогатилась. Теперь слово о ней.

Глава 3
Кентавры атомного мира



Теория на перепутье

«Победителей не судят!» — гласит старая поговорка. В науку она, однако, доступа не имеет. Еще как пристрастно судят! Пока не обоснован каждый шаг ученого в его сражении с природой, победа не засчитывается.

Но изредка бывает и иначе. Подозрительные ученые, косясь на ничем не обоснованную теорию, все же начинают потихоньку применять ее. Все-таки что-то лучше, чем ничего! Первый успех, второй успех!

И прежняя недоверчивость исчезает: теория «работает». Она никак не обоснована? Это ничего, «работает», значит, в общем, верна. А обоснование все равно когда-нибудь придет!

Так случилось с теорией квантов Планка. Тринадцать лет ждали кванты энергии, пока Бор так естественно не объяснил их, как неизбежное следствие электронных прыжков на атомных орбитах. Но само это объяснение, как и запрет электрону излучать, находясь на одной орбите, требовало обоснований. А обосновать их Бор не мог.

Теория Бора никак не вытекала из старой физики. Избранные орбиты электронов в атоме вместо любых, дозволяемых старой

физикой. Какие-то прыжки с орбиты на орбиту вместо плавного, непрерывного перехода. Да тут и не пахнет старыми, привычными представлениями. Не пахнет? А вот вдумчивые ученые учуяли. Нам придется придержать разговор об этом до следующих страниц: неопределенное чувство половинчатости теории Бора удалось воплотить в четкие формулы лишь спустя десять лет после ее появления.

А пока что эта теория работала, и работала замечательно. Измеряя энергии атомных квантов, удалось многое узнать о состояниях электронов в атоме. Стали выясняться многие закономерности оптических, тепловых, электрических, магнитных свойств вещества. Возникла квантовая химия, основы которой вошли сегодня во все школьные учебники.

И с развитием теории Бора все чаще стали замечаться ее слабости.

Бурный поток, разливаясь по равнине, обнажает подводные камни. Как ни удивительно, одним из таких подводных камней для теории Бора оказались те самые спектры, происхождение которых она столь блестяще объяснила.

Физика — наука точная. Она не удовлетворяется одним объяснением — ей подавай точный расчет. Вот, например, спектр излучения атома. Его линии характеризуются двумя величинами — частотой, или длиной волны, и интенсивностью, или яркостью.

Длины волн спектральных линий теория Бора рассчитывать позволяет. Это ее успех. А вот как быть с расчетом интенсивностей? На этот счет теория не дает никаких указаний. Более того, из нее вообще не вытекает, что спектральные линии могут иметь разные яркости.

В самом деле, если электрон набрал достаточную энергию, то он может совершать между орбитами как длинные прыжки назад, в которых расходуется вся эта энергия, так и короткие, в которых освобождается только ее часть. Ничто не запрещает электрону совершать длинные прыжки столь же часто, как и короткие.

Электрон, заброшенный на далекую от ядра орбиту, может вернуться на исходную орбиту не обязательно за один прием. Тогда вместо одного кванта высокой частоты (или энергии) возникнет несколько квантов с меньшими частотами. И ниоткуда не следует, что электрон должен предпочитать возвращение домой на экспрессе путешествию с пересадками на промежуточных станциях, и наоборот.

А вот на зависть теории Бора ее поверженная предшественница — старая физика — рассчитывать интенсивности спектров умеет. Правда, ей доступны только непрерывные спектры. Вспомним, что она, в свою очередь, даже и

помыслить не может об объяснении рождения отдельных линий.

Итак, одна теория умеет одно, другая — другое. Бору приходит в голову мысль сопрячь обе теории вместе.

Время новых шагов

Как это сделать? И тут Бор замечает, что расположение электронных орбит в атоме следует очень удобному для этой цели порядку. По мере удаления от ядра те орбиты, на которых его теория позволяет находиться электронам, все более сближаются друг с другом.

Лесенка энергий, которыми могут в атоме обладать электроны, имеет ступеньки неодинаковой высоты. По мере подъема по лесенке ее ступеньки укорачиваются. Она выглядит так, как прислоненная к стене дома обыкновенная лестница, если смотреть на нее снизу. Далекие ступеньки для глаза совершенно сливаются. Но здесь это иллюзия зрения, а в атоме такое происходит наяву.

Все более сближающиеся ступеньки — значит, все меньшие энергии квантов, отвечающих прыжкам электронов между, этими ступеньками. Длинноволновый или низкочастотный участок любого атомного спектра должен сильно походить на непрерывный спектр. А в идеале, если бы ступеньки лесенки энергий совсем слились друг с другом, это сходство превратилось бы в тождество.

Вот здесь и надо сделать мостик для соединения обеих теорий! А перейдя по нему с классической стороны на квантовую, распространить получившийся результат на атомные спектры, спуститься вниз по лесенке.

Что ж, изящный прием! К сожалению, однако, быстро выясняется, что он не так уж хорош. Иногда расчет квантового спектра по «классике» согласуется с наблюдаемыми на опыте яркостями линий, а чаще — нет. Почему так происходит, ни одна из обеих теорий, подвергнутых Бором гибридизации, объяснить не может. Гибрид оказывается на вид соблазнительнее, чем на вкус.

Да и само его появление — это как бы расписка теории Бора в ее слабости. Грешно выбрасывать классическую физику с парадного входа, чтобы затем потихоньку впускать ее с черного входа. Грешно, как насмешливо говорил английский физик Брэгг, по понедельникам, средам и пятницам исповедовать квантовую

религию, а по вторникам, четвергам и субботам — классическую.

Все яснее становилась физикам необходимость в более сильной, более последовательной теории атома. Пришло время новых шагов. И вскоре они были сделаны.

Первый из них принадлежит Луи де-Бройлю.

«Волна-пилот»

В сентябрьском номере журнала «Физическое обозрение» за 1924 год появилась удивительная статья. В ней коротко излагалась диссертация молодого французского физика Луи де-Бройля о волнах материи.

Волны материи? Разве это не упругие, звуковые и электромагнитные волны, в материальности которых физикам того времени не приходило в голову сомневаться? А раз так, то зачем столь громко названа статья? Ученые не без оснований полагают, что по тому времени эти волны в целом изучены достаточно хорошо.

Оказывается, однако, что статья де-Бройля касается совершенно иного вида волн. Автор уверяет, что эти волны сопутствуют движению любого тела, любой его частицы, что эти волны должны проявляться при любом движении, даже в абсолютной пустоте.

Тут что-то новое. Упругие и звуковые волны распространяются только в вещественной среде. В пустоте они наблюдаться не могут. С другой стороны, электромагнитные волны такой среды не требуют, но могут возникать при движении только электрически заряженных тел или частиц. Будущим космонавтам, наверное, не раз представится возможность наблюдать на далеких планетах извержение вулканов, происходящее в совершенном безмолвии. Только трясется земля под ногами!

Итак, что это за волны материи, как они сопровождают движения тел, как они выглядят? И почему до сих пор никто их не видел?

Скептики с улыбкой иронизируют над неведомыми волнами, другие задают нетерпеливые вопросы. И вот как на них отвечает де-Бройль.

…На Тихом океане широко распространен интересный спорт. Он требует умения и ловкости, и тем, кто овладел им, доставляет огромное удовольствие. Это катание на доске по волнам. В океан

выходит катер. Спортсмен переходит с него на широкую нетонущую доску и дожидается приближения высокого вала. Оседлав этот вал, смельчак несется на нем к берегу со скоростью курьерского поезда. Но одно неосторожное движение, и спортсмен соскальзывает с гребня, а вода захлестывает его с головой. Океанская волна ведет, как бы пилотирует спортсмена.

Вот так, в виде «волны-пилота», и представляет себе де-Бройль волну материи. Сидит частица в собственной волне, словно пассажир, и движется туда, куда влечет волна.

Следующий вопрос: как частица образует свою волну? Выделяет ее, что ли? На этот вопрос де-Бройль ничего ответить не может. Единственное, в чем он уверен, это то, что волна материи неразрывно и навечно связана с каждой частицей. Электромагнитная волна может оторваться от своего источника и уйти в мировое пространство. Для волн материи это невозможно.

Наконец, задается еще один вопрос: почему до сих пор никто не замечал этих удивительных волн, если даже они существуют? Что ж, для ответа нужно узнать, какова их длина. Самые длинные электромагнитные волны, которые еще можно измерить, имеют длины волн в сотни и тысячи километров. Самые короткие — гамма-лучи — имеют длины в миллиардные и триллионные доли сантиметра.

Так неужели в этом широчайшем диапазоне не удалось бы обнаружить волн де-Бройля, если бы они существовали? «Можно и не обнаружить», — говорит де-Бройль. Он производит подсчет по предложенной им формуле.

Какое движение вы хотите взять? Движение Земли по своей орбите вокруг Солнца? Пожалуйста: длина волны материи, сопутствующей этому движению, имеет величину порядка 10^{-55} сантиметра. Величина сверхничтожно малая! Никакими приборами зарегистрировать ее нечего и надеяться. Чтобы почувствовать малость такой длины, не помогут никакие сравнения. Достаточно сказать, что размеры атомного ядра меньше размеров видимой Вселенной «всего лишь» в 10^{-39} раз.

Возьмем в таком случае предмет гораздо более легкий и движущийся с небольшой скоростью, например, камешек, брошенный рукой. Пожалуйста: сопровождающая его волна материи имеет длину порядка 10^{-30} сантиметра. Положение по-прежнему совершенно неутешительное!

Выходит, надо де-Бройлю поверить на слово: никакими приборами его волн материи не обнаружить? Нет, мысль де-Бройля можно проверить. Но для этого надо взять самую легкую частицу в природе — электрон. Если его разогнать в электрическом поле с напряжением в 1 вольт (то есть до энергии

1 электрон-вольт), то электрон приобретет довольно солидную скорость. Длина его де-бройлевской волны окажется в пределах 10^{-7}–10^{-8} сантиметра. Это область длин волн рентгеновых лучей.

Итак, по крайней мере в принципе, волны материи можно было бы пытаться обнаружить.

Успех

Но одной принципиальной возможности мало. Ведь волны материи отличаются от всех других известных волн. Чем же их обнаруживать? Глаз воспринимает электромагнитные волны, ухо — звуковые. Все существующие приборы лишь расширяют границы наших органов чувств, но отзываются тоже только на эти виды волн. Волны де-Бройля же ни око не видит, ни ухо не слышит, ни зуб неймет!

А все-таки это волны. Должно найтись какое-нибудь явление, в котором волны материи проявят себя, если они существуют на самом деле. И даже не одно явление.

Например, физики давно пользуются в качестве пробного камня для волн явлением дифракции. Волна, наталкиваясь на своем пути на препятствия, как бы обтекает их и снова смыкается позади них. Но если, например, интенсивность волны до препятствия была по всему фронту одинакова, то за препятствием ее распределение принимает «полосатый» вид. В одних участках волна усиливается, в других — ослабляется. Ровная световая волна, пройдя мимо круглого экрана или через круглое отверстие малого размера, дает изображение в виде чередующихся темных и светлых колец.

Итак, волну материи будут ловить на дифракции. Какие препятствия для нее выбрать? Можно те же, с помощью которых совсем не так давно была открыта дифракция рентгеновых лучей, — атомы кристаллов. Только электроны, в отличие от рентгеновых лучей, в кристаллах очень сильно поглощаются. Поэтому надо работать, как говорят физики, не на просвет, а на отражение. То есть вести наблюдение по ту же сторону кристалла, где располагается источник электронов.

Наконец все додумано. Через три года после появления статьи де-Бройля ставится первый опыт по поимке волн материи. Пучок электронов из раскаленной металлической нити, оформленный диафрагмой, посылается на грань кристалла, отражается от нее и направляется на фотопластинку. Если нет

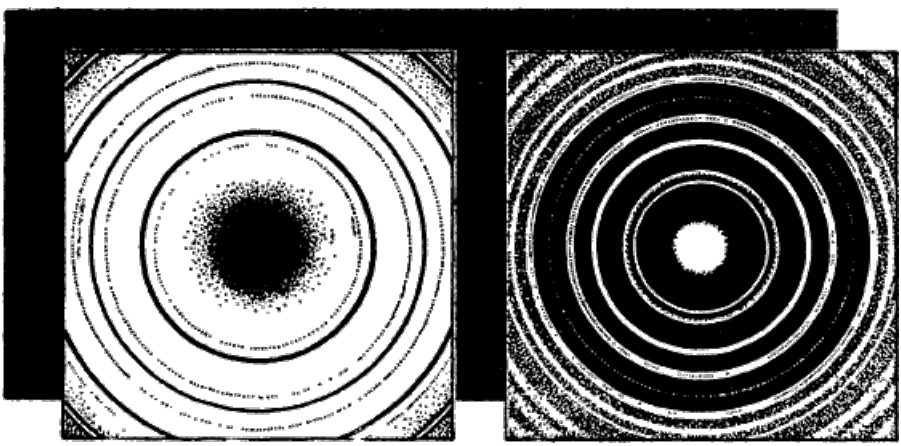
никаких электронных волн, то на пластинке должен получиться четкий контур диафрагмы.

И вот экспозиция закончена. Фотопластинку уносят в темную комнату и кладут в проявитель. Медленно тянутся секунды, медленно проступают контуры снимка. Нетерпеливые исследователи, не дожидаясь конца проявления, извлекают пластинку из воды, подносят к свету…

Есть! Есть дифракционные кольца!

Слабенькие, еле заметные, они бесконечно радуют ученых. Как бесценное сокровище, пересылают эти первые фотопластинки с записью волн материи в крупнейшие физические лаборатории мира. Их придирчиво, внимательно изучают, но сомнений больше нет. Электроны оставили на фотопластинке следы волн.

Поразительно смелая мысль де-Бройля о волнах материи получает блестящее подтверждение.



Слева вы видите рентгенограмму, полученную на образце, состоящем из множества мелких кристалликов. Справа — картина дифракции электронов от подобного вещества. Она называется электронограммой. Такие снимки наряду с рентгенограммами служат для изучения строения кристаллов. Именно электронограмма убедила физиков в существовании электронных волн де-Бройля.

…Открытие волн материи завершает не только историю одной смелой мысли. Оно завершает целую эпоху в физике и открывает в ней новую, еще более глубокую и богатую современную эпоху.

Испокон веку физика различала два не сводимых друг к другу, два в корне различных движения — движение частиц и распространение волн. И законы этих движений были совершенно

различными.

Частицы не могут проникать одна в другую, не могут сами по себе перераспределять свои потоки, отклоняться самопроизвольно от прямых путей. Совсем не то — волны: они могут накладываться друг на друга, перераспределять свои интенсивности — интерферировать, искривлять свои пути, заходя в тень за препятствием, — дифрагировать. Частицы имеют определенные размеры, свои границы. Идеальные же волны, которые мы рисуем в виде синусоид, не имеют ни начала, ни конца в пространстве и времени.

Но вот несоединимому предстояло соединиться. И еще задолго до гипотезы де-Бройля. Виновник этого соединения — свет. А непосредственный исполнитель, как мы помним, Альберт Эйнштейн: он вводит фотон.

Фотон — это частица света, обладающая свойствами волны. Фотон — это электромагнитная волна, обладающая свойствами частицы. Так в физике появилась первая двуликая сущность.

Каким ликом обернется фотон, зависит от явления, в котором он принимает участие. В одних явлениях, скажем, в дифракции, он выказывает волновую сущность. В других, например, в фотоэффекте, он обнаруживает сущность частиц.

Де-Бройль открывает, что подобная двуликость — удел не только света, но вообще всех частиц вещества. Мир атомов оказывается двуликим везде и во всем.

«Волна-пилот» — пережиток старины?

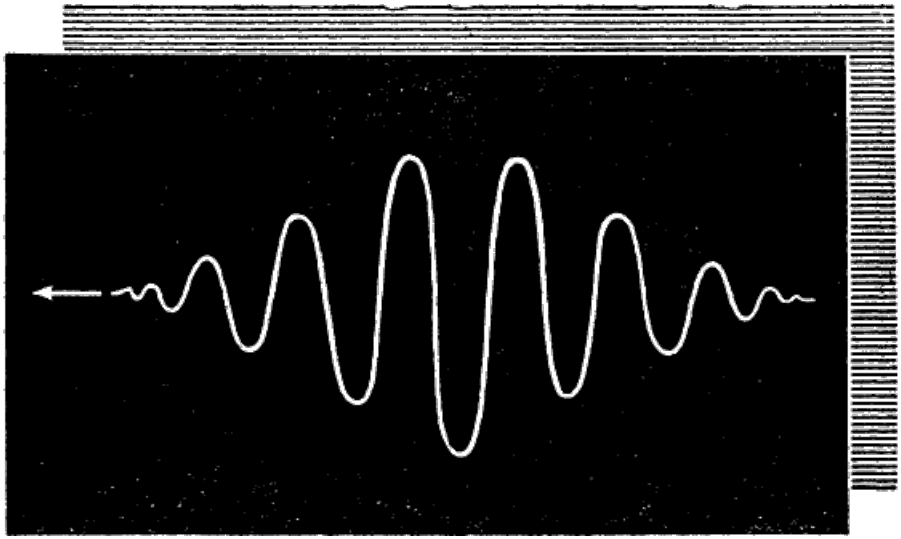
Старое живуче. Классическая физика прокрадывается в теорию Бора и «портит» ее достижения. Она же проникает и в теорию де-Бройля.

Как связаны свойства волны и свойства частицы? Де-Бройль высказывает мысль о «волне-пилоте». Но что это, как не механическое сочетание волны и частицы? Под таким сочетанием, несмотря на всю его необычность, классическая физика может охотно подписаться.

Действительно, этот образ составлен из двух обычных классических представлений — частицы и волны. То, что эти представления скомпонованы не классически, ничего, в сущности, не меняет.

Де-Бройль и сам это сознает. Надо отдать предпочтение чему-то одному, нашептывает старая привычка в часы долгих

раздумий. И де-Бройль решается выбросить из игры частицу. Частицы, как таковой, не существует, заявляет он. Частица — это образование из волн материи, «волновой пакет», как говорят физики.



Так, в виде «подушки», составленной из волн, физики и представляют себе волновой пакет. Видно, что высота волн быстро уменьшается по мере удаления от середины пакета. Это и позволяет говорить о том, что пакет компактен.

Чем-то он напоминает ударную волну. Такая волна, оставаясь волной, может высаживать стекла не хуже, чем удар снаряда, она компактна. Образно говоря, волна материи — какое-то цунами микромира. То самое цунами, что в открытом море лишь качает корабли, а на берегу производит страшные разрушения.

Поначалу этому предположению не отказывают в убедительности. Но уже спустя короткое время математический расчет выносит ей строгий приговор. Оказывается, волновые пакеты, даже в абсолютной пустоте, должны очень быстро расплываться, словно дымовые кольца в воздухе. Даже если долю секунды назад вот здесь была частица — «пакет», то теперь ее уже нет: она размазалась по пространству, как кусок масла, опущенный в кипяток. Однако наука не стоит на месте, безучастно наблюдая, как де-Бройль тщетно пытается наделить голую мысль плотью и кровью. Не проходит и года, как идея де-Бройля дает ростки в целом ряде физических центров мира.

В 1925 году профессор Геттингенского университета в

Германии Макс Борн высказывает мысль, что волна де-Бройля — это «волна вероятности». Она определяет вероятность того, что электрон, отразившись от кристалла, попадает в данное место фотопластинки. Она вообще определяет вероятности любых событий, происходящих с электронами и с другими частицами в мире атомов.

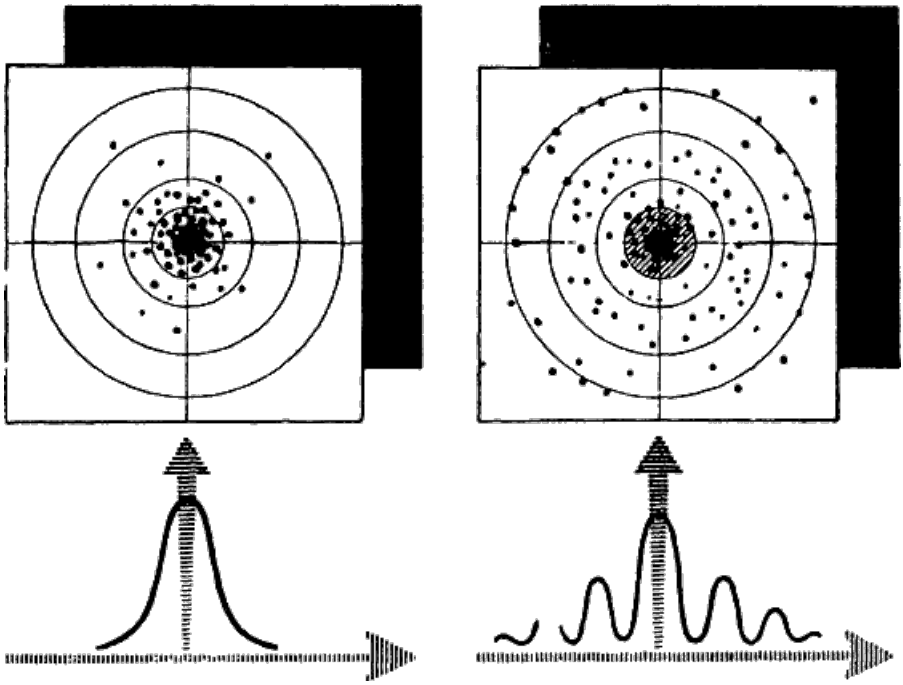
Но события не с каждым электроном в отдельности, а с очень большими их группами. Иными словами, волна материи определяет некий статистический закон поведения электронов.

Так ли это? В жизни мы наблюдаем множество статистических закономерностей. Они описывают результаты большого числа одинаковых явлений. При этом несущественно, тысячу раз повторяется явление с одним предметом, или же тысяча предметов один раз демонстрирует это явление.

Можно выпустить тысячу одинаковых пуль по одной мишени одновременно, а можно произвести по той же мишени тысячу выстрелов подряд. Так или иначе, результат окажется почти совершенно одинаковым.

Этот результат состоит в том, что пулевые пробоины распределятся на мишени по вполне определенному закону. Если нет ветра, если пули во всем одинаковы, если у идеального стрелка не дрожит рука, то все пули лягут в десятку. Но, конечно, всегда есть слабые потоки воздуха, две пули всегда в чем-то слегка различны, рука стрелка всегда совершает мелкие непроизвольные движения, которые невозможно точно учесть, столь они случайны. И пули попадут на мишень по закону распределения случайностей.

Этот закон можно изобразить на рисунке. Для этого по одной оси графика надо отложить расстояние от центра мишени до пробоин, а по другой — соответствующие числа пробоин.



На левом рисунке изображена обычная стрелковая мишень. Если сосчитать число пробоин между окружностями на мишени и отложить эти числа на графике в зависимости от номера окружности, то получится лесенка. Если ее сгладить, то тогда на графике появится кривая Гаусса. На правом рисунке показано, что получилось бы, вздумай мы стрелять по такой мишени электронами. Можно увидеть сразу две интересные особенности. Во-первых, электронные пробоины вышли за заштрихованный контур диафрагмы (она как бы дуло электронного ружья). А во-вторых, показанная внизу кривая не похожа на Гауссову — она спадает волнообразно.

Взгляните на полученный график.

И сравните его с другим. Это график электронного «стрелка». Он получится, если подсчитать так же, как и выше, число электронных «пробоин» на фотопленке. Графики похожи только в одном: кривые спадают по мере удаления от центра. Но вместо монотонного спадания кривой «случайностей» электронная кривая спадает волнообразно.

Вот эту-то волну Борн и предложил считать волной де-Бройля.

Как? Эта «бумажная» волна и есть то, что гордо названо

волной материи?

Да, говорит Борн. Волновые свойства электрона должны проявляться тоньше, чем это мыслилось де-Бройлю. Волна теперь «ведет» частицу лишь в том смысле, что электрон взаимодействует с атомами кристалла по «волновому» закону (он и изображен на рисунке).

А этот закон уже дает волновую дифракционную картину электронов на фотопластинке.

Конечно, все это гораздо сложнее, чем вначале полагал де-Бройль. Но волновая картина проявляется на фотопластинке не сразу. Если бросить на кристалл какой-нибудь десяток электронов и затем обработать снимок, то на графике их попаданий никакой закономерности обнаружить не удается.

Что ж, нечего удивляться. Обычная мишень с десятком пулевых пробоин также не позволила бы прийти к закону «случайностей». И тот, и другой — законы статистические, они проявляются тем четче, чем больше число одинаковых явлений.

Все же на нашем снимке можно обнаружить любопытное обстоятельство. Казалось бы, электроны могут попадать лишь в те точки фотопластинки, которые не заходят в «тень» от диафрагмы, поставленной на пути пучка электронов. Вот она заштрихована на рисунке. Однако мы видим, что электроны все же заходят в «запретную» область.

Это очень существенно! Отсюда немедленно следует, что движение электронов подчиняется не старому классическому, а волновому закону. Классический электрон ни в коем случае не нарушил бы строгого запрета и не вышел бы за пределы, очерченные контуром диафрагмы на фотопластинке.

А вот волновой закон, как оказывается, разрешает электрону выходить за эти рамки. Но, правда, с небольшой вероятностью. Однако, какова бы ни была эта вероятность, если только она не равна нулю, то не этот, так другой электрон рано или поздно использует ее.

Это означает, что и сам электрон обладает какими-то необычными, с точки зрения старой физики, свойствами. Свойства эти таковы, что в массе распределение электронов в описываемом явлении оказывается волнообразным.

Что же это за свойства? О них опять же придется отложить разговор. К ним науке тех лет предстоит еще долгий путь.

Единственное, о чем сейчас можно сказать, это то, что новые свойства электрона не позволяют говорить о точном законе движения данного, выбранного для наблюдения электрона. Они не позволяют заранее точно предсказать, в какое место фотопластинки попадет данный электрон. Это можно указать

лишь с некоторой степенью вероятности.

Например, в темные кольца на снимке электрон попадает с большей вероятностью, чем в светлые. Эту вероятность новая теория позволяет подсчитать. И при большом числе «попаданий» расчет действительно отлично согласуется с опытом.

Итак, вероятностный закон вместо точного закона классической физики. Не назад ли пошла физика, вместо того, чтобы двигаться вперед?

Вероятное — точнее точного

Нет, недоуменный вопрос не имеет под собой почвы. Если уж говорить об этом, то те «точные» предсказания, которыми старая физика пыталась описывать движение электронов и других микрочастиц, были не более чем миражем.

Классическая физика самонадеянно считала, что она может описать любое явление, любое движение любой частицы в любых условиях. Задай только положение и скорость частицы в некий момент времени и действующие на нее силы, и можно будет сказать все о движении частицы в последующие моменты времени, хоть через миллион лет.

И ученые верили этому без малейшего сомнения. Но с горы видно дальше, чем с холма. «Невежество» классической физики незамедлительно выявилось, как только ученые поднялись на горы теории относительности и теории квантов. Спору нет, «старушка» отлично работает в привычном нам мире больших вещей, движущихся с небольшими скоростями. Но пусть она лучше не суется в мир атомов, мир сверхмалых частиц. Там ее «точные» предсказания — часто попадания пальцем в небо.

«Волны вероятности», вероятностные законы движения сверхмалых частиц — законы куда более точные, чем классические законы в этих масштабах мира. Нет, это не отступление физики, а гигантский скачок вперед!

Но все-таки, что ни говори, а хотелось бы иметь в руках точный закон движения каждой частицы, каждого электрона. Увы, это в нас еще говорит явно устаревшее желание все увидеть, все пощупать. Даже если чего-либо нельзя, и принципиально нельзя ни увидеть, ни пощупать.

Мы живем в «классическом» мире. Все наши образы, представления, все наши мысли в конечном счете черпаются из него.

В том-то и состоит великий подвиг физиков современности, что они первыми создали совершенно необычные представления. Что они организовали у себя в головах новый мир — отражение того мира, что скрыт в глубинах вещей, и сумели путешествовать и открывать новые земли в этом мире.

Последуем за ними в этом необычайном путешествии.

Слон и муравей

Уже позади время первых робких попыток проникнуть в новый, атомный мир. Теперь, к середине двадцатых годов нашего века, существует квантовая механика. Попытки отдельных смельчаков мысли сменяются большими, хорошо оснащенными экспедициями целых научных коллективов.

Появляются тончайшие, фантастически чувствительные физические приборы. О таких приборах и мечтать не могли ученые каких-нибудь полвека назад. В распоряжение физиков поступают счетчики частиц, камеры, снабженные стереофотоаппаратами, толстые слои фотоэмульсий, богатая радиотехническая аппаратура.

Но, вступая в незнакомый мир, прежде всего надо посмотреть, как в нем будут вести себя измерительные приборы, не будут ли они давать неточных показаний, а то и попросту врать.

Наука того времени знает уже немало сенсационных «открытий», родившихся из ошибочных показаний приборов, или, что еще хуже, из неверного истолкования результатов измерений.

Оправданы ли подобные опасения теперешних путешественников? Для этого, видимо, есть основания. Любой, даже самый крошечный прибор должен вести себя в мире атомов, как слон в муравейнике. Слишком несоизмеримы масштабы двух миров: того, в котором проводят измерения, и того, который хотят измерить.

Но одних догадок мало. Нужен еще убедительный ход мысли, заканчивающийся точным расчетом. Этот расчет выполняет в 1927 году один из зачинателей квантовой механики немецкий физик Вернер Гейзенберг.

Послушаем, что он говорит. И представим это в виде беседы ученого с измерительным прибором. Пусть нас не смущает то, что такую сценку не поставят на подмостках театра: уж очень она похожа на знаменитый чеховский «Разговор человека с собакой».

На самом же деле — это мысленный диалог ученого.

Ученый (*прибору*). Вот тебе задание. Пристройся к опыту по дифракции электронов на кристалле. Там электрон почему-то отказывается подчиняться старым классическим законам. Выбери себе электрон, измерь траекторию его полета и определи, так ли это.

Прибор (*возвращаясь*). Я сходил посоветоваться к старичку микроскопу. Ведь перед ним ставятся подобные задачи. Правда, не на электронах, а на бактериях, пылинках: они гораздо крупнее. Но все равно, сказал он мне, законы наблюдения общие. Чтобы увидеть какой-либо предмет, его надо осветить. В кромешной тьме ничего не увидишь. Да еще надо знать, чем освещать.

Ученый. Правильно. Длина волн для освещения должна быть по крайней мере того же порядка, что и размеры наблюдаемого предмета. Тогда можно будет увидеть его изображение. А чтобы получить совсем четкое изображение, надо взять свет с еще меньшей длиной волны.

Прибор. Вот-вот. Микроскоп и сказал мне, что в этом его трагедия. Он может использовать только видимый свет, самые короткие волны в котором имеют длину около трети микрона. А, скажем, вирусы в десятки раз меньших размеров он вовсе не в состоянии увидеть. «Вам, молодым, дорога, — сказал он мне. — Я уже свое отслужил. В атомном мире, говорит, делать мне нечего».

Ученый. Действительно, он прав.

Прибор. А какой размер электрона?

Ученый. Точно не известно. Лет двадцать назад подсчитали по классической физике и получили что-то вроде десятитриллионных долей сантиметра.

Прибор. Ого! Еще в миллиард раз меньше, чем размеры микробов! Чем же его освещать? О свете и речи нет. Даже рентгеновы лучи и те безнадежно длинны.

Ученый. А ты возьми еще более короткие — гамма-лучи. Правда, у известных мне сейчас гамма-лучей длина волны все еще несколько больше размеров электрона. Ну ничего, получи хоть нечеткое изображение, и того достаточно. Итак, действуй.

Прибор (*удаляется и возвращается некоторое время спустя*). Послушайте, у меня ничего не вышло! Нашел я себе электрон, осветил его гамма-фотоном и попробовал определить его движение. Не тут-то было: электрон исчез! Второй раз попробовал — и опять та же незадача. Так ничего и не определил.

Ученый. Извини. Я поручил тебе невыполнимую задачу. Пока ты пытался что-то измерить, я раздумывал. Вот смотри.

Зачем ты берешь гамма-лучи? Чтобы определить положение электрона с достаточной точностью, скажем, порядка его

собственных размеров.

Но когда ты бросаешь гамма-фотоны на электрон, то это смахивает на стрельбу из пушек по летящим воробьям! Да-да, не удивляйся. Давай подсчитаем импульс нашего электрона, то есть произведение его массы на скорость полета. Возьмем для наглядности очень быстро летящий электрон, скажем, со скоростью 100 000 километров в секунду. Тогда получим, что импульс электрона — что-то около 10^{-17} граммов на сантиметр в секунду. А для наших с тобой гамма-фотонов импульс в добрую тысячу раз больше.

Действительно, из пушки мощным снарядом по ничтожному воробью. Стоит ли удивляться, что такой зверь — фотон — начисто смел электрон со своего пути!

Прибор. Понимаю. Но как же быть? Я могу взять не такие могучие фотоны. Скажем, такие, чтобы их импульс был меньше, чем у нашего электрона.

Ученый. Можешь. Но подумай, какая длина волны отвечает этим фотонам? Ведь чем меньше импульс фотона, тем больше его длина. В твоем случае — не много, не мало, как в десятки тысяч раз больше размеров электрона! Теперь ты незначительно повлияешь на движение электрона, сможешь даже более или менее точно определить его скорость. Но положение, траектория электрона останутся для тебя полной загадкой.

Прибор. А микроскоп еще говорил: молодым дорога. Выходит, что я еще беспомощнее, чем он! Может быть, есть все-таки какой-нибудь выход?

Соотношение неопределенностей

Ученый Вернер Гейзенберг говорит: выхода нет. Любой прибор слишком груб в мире сверхмалых частиц, слишком неуклюже и сильно вмешивается в явления, протекающие в этом мире.

А Нильс Бор, поразмыслив, обобщает это высказывание. Он утверждает, что с помощью любых приборов мы с достаточной точностью в каждом из опытов можем узнать только об одной стороне атомного мира. Конкретнее: в каждом опыте можно определить, например, либо только местоположение, либо только скорость электрона. Положение и скорость электрона оказываются как бы исключающими и дополняющими друг друга величинами. Дополняющими до того полного описания, которое

дает (конечно, куда более крупным предметам) старая классическая физика.

Все физические свойства частиц можно разбить на два класса, дополняющие друг друга. Но эти классы — как бы две стороны одной медали. Никогда не удастся одновременно увидеть обе стороны медали.

Да, мир сверхмалых частиц двулик. Но он являет каждый из своих ликов порознь в разного рода опытах, в разных явлениях.

И в этом виноват прибор, заявили Гейзенберг и Бор. Этот слон слишком груб, чтобы с его помощью можно было изучать тонкие детали атомного муравейника. А сделать прибор достаточно тонким, чтобы он не разгонял «муравьев», человек не может.

Значит, выхода нет: мир микрочастиц для нас принципиально точно не познаваем? Очень грустный вывод.

Получается, что есть предел могуществу человеческого знания. И находится этот предел не в бескрайних просторах Вселенной, а вот здесь, у нас под руками, и даже в нас самих.

Правилен ли такой вывод? Правильно ли обвинять приборы или электрон, ускользающий от точного измерения приборами? Ученые задумались. И некоторые из них пришли к другим выводам.

Они сказали: зачем обвинять приборы в недостаточном могуществе или электроны в непознаваемости? Более разумным было бы обвинять самих себя!

Мы потребовали от приборов таких сведений, которые те не могут представить. Например, сведения о точном положении и точной скорости электрона одновременно, то есть в конечном счете, о траектории электрона.

Точные положение и скорость, точная траектория движения… Все эти понятия мы притянули из классической физики. Все законы ее записаны на языке этих и подобных им понятий. А что, если сами эти понятия неприменимы к микромиру? Что, если попытка втиснуть атомный мир в их рамки есть насилие над природой?

Так оно и оказалось. У физики нет пока что понятий, чтобы точно описать поведение электронов и других микрочастиц. Она вынуждена для этого описания использовать уже давно сложившиеся понятия.

И еще хорошо, что эти понятия не отказывают немедленно, что они хоть немного работают в новом мире! И даже, честно говоря, не так уж «немного». Откройте любую книгу по квантовой механике, послушайте разговоры физиков, и вы на каждом шагу убедитесь в том, как широко физики используют старые понятия

в новом мире.

Но до каких пор можно использовать эти старые понятия? Не беспредельно, разумеется. И пределы применимости классических понятий в атомном мире как раз указываются соотношениями неопределенностей Гейзенберга.

В нашем примере они касались понятий о местоположении и скорости электрона. Существуют и другие подобные соотношения. Одно из них, например, говорит, что, измерив точно энергию атомной частицы, нельзя сказать, в какой точно момент времени частица имела эту энергию. И наоборот, засекая точно время измерения, нельзя точно измерить энергию частицы.

Другое соотношение говорит, что нельзя одновременно со сколь угодно высокой точностью измерить потенциальную и кинетическую энергию частицы. Это и понятно: потенциальная энергия зависит от местоположения, кинетическая — от скорости частиц. А положение и скорость частицы одновременно абсолютно точно определить нельзя.

Но почему же тогда физики не заменят старые, отслужившие понятия новыми, более соответствующими атомному миру? Ответ на этот вопрос дается самим ходом развития человеческого знания.

Одна из величайших драм физики в том и состоит, что сами ученые с физической точки зрения — большие, «классические» предметы, обитающие в столь же большом мире. Ученых повседневно и повсеместно окружают явления, протекающие по классическим законам. Поэтому и понятия, складывающиеся в их головах, тоже имеют классический характер. Так, во всяком случае, обстояло дело с понятиями до начала нашего века, до прорыва в атомный мир.

Всем вещам в мире присуща инертность. И даже столь подвижная человеческая мысль не исключение. Очень трудно отказаться от понятий, имеющих почву в окружающем нас мире больших вещей, и выработать «нечувственные» представления о невидимом, неслышимом, неосязаемом мире, который, однако, существует ничуть не менее реально, чем большой мир. Мы уже говорили о том, что понятия, все же выработанные вопреки этим трудностям, — замечательная заслуга ученых.

Но сам процесс этот страшно тяжел, развивается очень медленно, новые понятия все еще несовершенны. Они зачастую несут на себе следы той самой половинчатости, в которой упрекали когда-то теорию Бора. Избавиться от этой половинчатости — дело науки ближайшего, а может быть, и отдаленного будущего.

Все же новые представления во многом истинны. С их

помощью ученые смогли предсказать события, совершенно немыслимые в классическом мире. Об одном из них мы сейчас и расскажем.

Сквозь атомные заборы

…В саду за высоким забором растут яблоки. Возле забора с тоской в глазах прохаживается мальчишка. Уж очень желателен плод запретный! Но перелезть через высокий забор, кажется, нет никакой возможности.

Вы можете подойти к мальчишке и с сожалением сказать: «Эх, отчего ты такой большой и тяжелый! Вот будь ты в триллионы раз легче, ты бы сам по себе, без малейшего усилия, смог бы оказаться по ту сторону забора». После этой фразы мальчишка от удивления и думать перестал бы о яблоках.

Но как понять эти странные слова? Мы привыкли с полным основанием считать, что сквозь стены проникнуть невозможно. Такое бывает только в сказках. Вот и мальчишка подтверждает: «Что вы мне сказки рассказываете!» А все-таки это не сказки, а одно из замечательных открытий квантовой механики. Понятное дело, это возможно только для очень маленьких и легких частиц, которые и изучаются квантовой механикой.

Для классической физики «просачивание сквозь стены» — действительно чепуха, вещь абсолютно немыслимая. Такое явление противоречило бы не только здравому смыслу, но и основным законам физики.

Частица может преодолеть стенку, встретившуюся на ее пути, одним-единственным способом: перемахнуть через нее, набрав достаточную энергию. Если же энергии не хватает, то частица, налетев на стенку, должна отлететь обратно.

Совсем так, как отскакивает от борта бильярда шар, или как отражаются волны света от хорошего зеркала. Но не забудем, что каждой частице сопутствует особая волна — волна де-Бройля.

Как обстоит дело с зеркалами для этих необычных волн? Оказывается, такие зеркала существуют в виде стенок для частиц. Только эти стенки могут быть и невидимыми и неосязаемыми. Например, для электронов, находящихся в металле, такими стенками является наружная поверхность металла, а для частиц, находящихся в атомных ядрах, условная «поверхность» ядер.

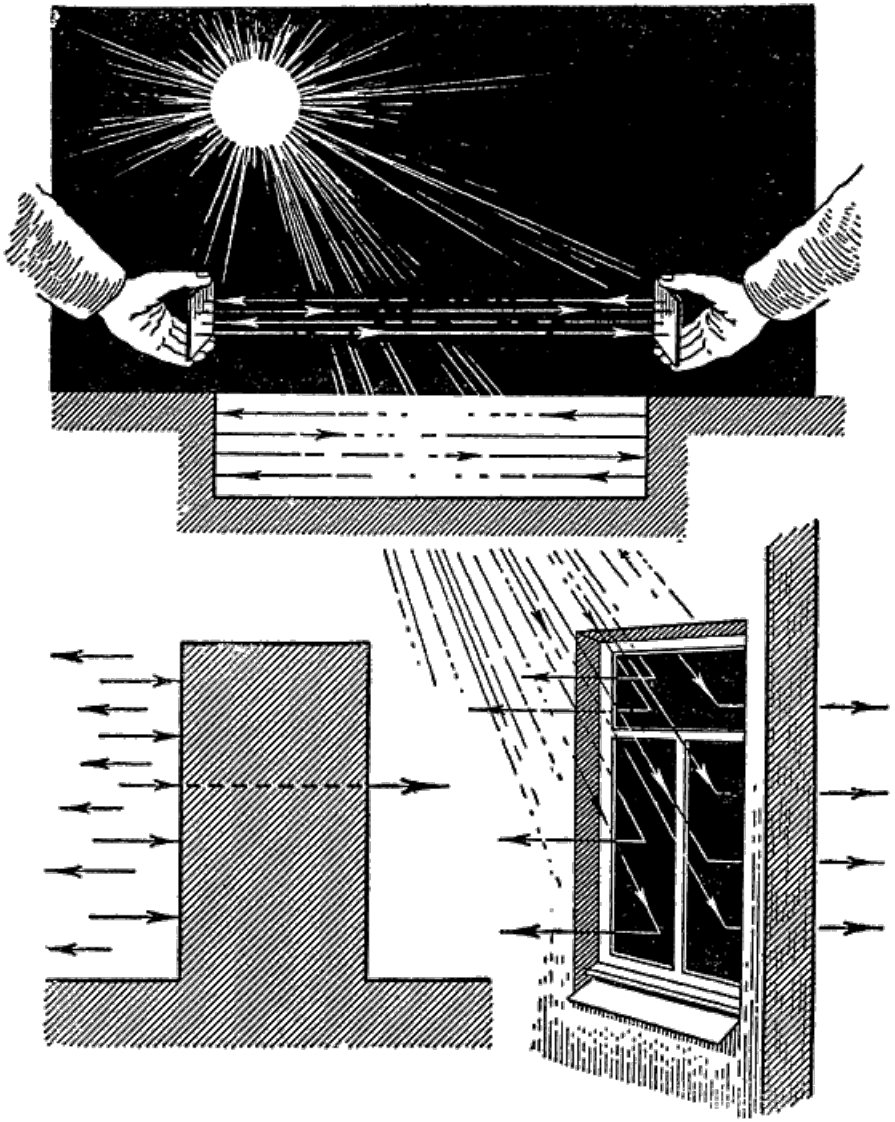
Ученые назвали стены домов, в которых живут семьи атомных частиц, барьерами, а сами дома — неуважительно —

ямами. Картинка действительно напоминает нам шарик в ямке, отделенной земляной насыпью от окружающего пространства.

Квантовая механика знает два рода барьеров. Одни барьеры могут быть хоть и невысокими, но бесконечно длинными: они похожи на лестничные ступеньки — имеют только одну переднюю сторону. Другие барьеры скорее похожи на заборы: они могут быть хоть и высокими, но имеют ограниченную ширину.

Барьеры первого рода для волн материи оказываются идеальными зеркалами. А второго рода напоминают зеркала, побывавшие в длительном употреблении, когда отражающий слой на них частично стерся. Обычные зеркала при этом слегка пропускают свет. Атомные зеркала оказываются чуть-чуть прозрачными для де-бройлевских волн.

В результате волны материи просачиваются сквозь барьеры. Но это же означает, что связанные с ними частицы получают некоторую вероятность очутиться вне барьеров. Иными словами, частица с энергией, недостаточной для преодоления барьера поверху, может все же оказаться за ним, как бы прорыв туннель сквозь барьер. Удивительное явление так и получило название туннельного эффекта.



Частицы полностью отражаются обратно хотя и низенькими, но зато безгранично длинными барьерами. А вот если барьер имеет определенную ширину, даже пусть он очень высок, частицы могут понемногу просачиваться сквозь него. Пунктир вроде туннеля в барьере показан на рисунке только для наглядности находиться внутри барьера частицы не могут. Это и есть туннельный эффект.

«Чушь! — заявляет классическая физика. — Вот тут-то я и подловлю квантовую механику. Прослежу за частицей и, как только она войдет в барьер, тут же схвачу ее: стоп, голубушка,

попалась! А ну-ка, полезай на весы! И квантовую механику приглашу полюбоваться».

В самом деле, у старой физики, кажется, есть основания злорадствовать. Легко убедиться в том, что частице внутри барьера отвечает отрицательная кинетическая энергия.

Вспомним выражение для этой энергии: половина произведения массы на квадрат скорости. Квадрат всегда положителен, половина — тоже. Если кинетическая энергия отрицательна, то, значит, частица внутри барьера должна иметь отрицательную массу. За этим-то и собиралась старая физика тащить частицу на весы. И, кажется, не зря: отрицательную массу не признает даже революционно настроенная квантовая механика.

И вот классическая физика влечет свою противницу к самому атомному барьеру. Она словно желает, чтобы дуэль между ними происходила по всем правилам. Однако, вопреки ожиданию, квантовая механика нисколько не нервничает. Напротив, она любезно помогает установить приборы для решающего опыта. Но при этом чуть-чуть заметно усмехается: она-то знает, как ведут себя приборы в атомном мире!

Начинается опыт. Прибор должен поймать частицу внутри барьера. При этом неважно, в каком месте, — достаточно лишь уличить частицу в том, что она находится где-то под барьером. Поэтому для опыта берутся кванты света с длиной волны, понятно, не более ширины барьера.

Частица засечена в яме, она движется по направлению к барьеру, прибор включен… — и классическая физика удивленно протирает глаза. Частица прошла над барьером! Несмотря на то, что ей недоставало энергии перемахнуть через барьер!

А квантовая механика громко и обидно смеется над еще раз поверженной противницей. Поимка не удалась. И мы догадываемся уже, почему. Измерительный прибор, вмешавшись в «незаконное» явление, добавил частице как раз столько энергии, что смог перебросить ее над барьером.

Нет, о том, чтобы уличить частицу в момент просачивания сквозь барьер, не может быть и речи. А вместе с тем частицы просачиваются сквозь барьеры!

Туннельный эффект работает

И это не выдумка хитрой квантовой механики.

Вот два доказательства. Из холодного куска металла электроны не вылетают: это факт, твердо установленный. Но раскаленный кусок металла обильно испускает электроны. Все нити накала радиоламп используют именно это явление. Электроны в холодном куске металла имеют недостаточную энергию для преодоления барьера-ступеньки на границе куска металла. При нагревании они увеличивают свою энергию и преодолевают барьер на границе металла вполне законным с точки зрения старой физики способом.

Квантовой механике здесь еще нечего делать. Но приложим к холодному куску металла сильное электрическое поле. Оно увеличит энергию электронов. Подберем, однако, это поле так, чтобы переданной им электронам энергии все же было недостаточно для их вылета за пределы куска металла. Поле, в сущности, лишь перекосит барьер на границе металла, превратит его из лестничной ступеньки в забор.

И этого достаточно. Электроны начинают просачиваться сквозь барьер. Возникает так называемая холодная эмиссия электронов. Это явление используется в целом ряде замечательных электронных приборов. А вот и второе доказательство: из тяжелых атомных ядер при радиоактивном распаде вылетают альфа-частицы. Ядро существует? Существует. Значит, в общем, подавляющее большинство частиц в нем не имеет возможности покинуть его. Именно подавляющее большинство: альфа-частица уносит с собой лишь какие-то жалкие два процента массы ядра.

Получается так, словно ядерная семья живет в доме, отгородившемся высоким и глухим забором от своих соседей. Может быть, альфа-частицы удирают из этого дома, перемахнув через забор? Не похоже: уж очень высок забор и очень незначительна по сравнению с его высотой энергия альфа-частиц.

И тогда американский физик Джордж Гамов вспоминает о туннельном эффекте, для которого не существует глухих заборов. Альфа-частицы просачиваются через барьер на границе ядра! И проведенный им расчет отлично подтверждается на опыте. Этот расчет произведен в конце двадцатых годов нашего века.

О «вращающихся» частицах

Неистощимые спектры! Сколько открытий принесли они физикам, химикам, астрономам! Именно из многоцветья спектров

рождалась первая теория атома Нильса Бора. Именно с помощью спектров химики открыли множество химических элементов, научились производить точнейшие химические анализы. Именно спектры позволили астрономам проникнуть в бескрайние просторы Вселенной и «пощупать» строение звезд и состав межзвездных пространств.

В 1925 году спектры поднесли физикам еще одно замечательное открытие. Оно ждало своей очереди добрых тридцать лет, с тех пор как голландский ученый Питер Зееман обнаружил удивительное расщепление спектральных линий в магнитном поле.

Картина была в самом деле поразительной. Узкая яркая линия, стоило внести источник света в магнитное поле, вдруг исчезала. На ее месте, словно осколки, оказывалась группа более слабых линий. Росло поле, и линии расходились, сливаясь друг с другом. Наконец в сильном поле оставались только две или три линии.

Понятно, в чем дело, заявили физики после создания первой теории атома. Электрон кружится по орбите вокруг ядра, словно малюсенький круговой ток. И этот ток ведет себя, как крошечный магнитик. Помести его в большой магнит, и они начнут взаимно влиять друг на друга.

На большом магните влияние маленького, конечно, никак не скажется. Но на маленьком магните оно проявится совершенно отчетливо: он изменит свою энергию. Орбита электрона чуть-чуть сместится, прыжки электрона между орбитами станут чуть длиннее или чуть короче.

Этого достаточно: спектральные линии изменят свое положение. Вместо одной линии на ее месте появится ряд смежных линий.

И расчет действительно неплохо подтверждает такое представление. Неплохо — в данном случае означает лишь: очень часто, но не всегда. Иной раз и «осколки» линии не там, где им полагалось бы находиться, иной раз и число «осколков» не то, что предсказывается.

Складывается такое впечатление, что электронный магнитик временами то слишком слаб, то слишком силен. Словно есть в нем какой-то дополнительный магнитик, который то складывается с основным магнитиком, то вычитается из него.

Дополнительный магнитик? Значит, дополнительный ток? Какому же еще движению электрона должен отвечать этот ток?

Движению вокруг самого себя! Электрон вращается не только вокруг «солнца» — ядра, но и как полагается настоящей «планетке» — вокруг самого себя!

Первым в 1921 году эту мысль высказывает Артур Комптон. Она проходит незамеченной.

Вторым в январе 1925 года эту мысль высказывает Роберт Крониг. Она встречает довольно резкую критику.

Третьими в сентябре 1925 года эту мысль высказывают Джордж Уленбек и Сэмюэл Гаудсмит. Они ничего не знают о том прохладном приеме, который встретил догадку Кронига. Более того, отдав статью своему учителю, замечательному физику Павлу Сигизмундовичу Эренфесту, они через несколько дней обнаружили, что из их идеи вытекает вопиющее следствие. Скорость на «поверхности» вращающегося вокруг себя электрона должна во много раз превышать скорость света!

Да ведь это же совершеннейший абсурд! Это же запрещено теорией относительности Эйнштейна! Ученики с превеликим беспокойством бегут к учителю, перебивая друг друга, рассказывают об этом, просят обратно свою статью. А Эренфест с улыбкой отвечает: «Я уже направил вашу статью в печать. Вы оба достаточно молоды, чтобы позволить себе сделать глупость!»

И «глупость» совершается: статья выходит в свет. Чудесная «глупость» — побольше бы таких! Спустя два месяца заново пересчитываются зеемановские «осколки» спектральных линий с помощью добавки к электронному магнитику. И что же — теперь блестящее согласие!

Так в физику входит вращающийся электрон. «Спин» — так названо новое явление: электрон, словно крошечный волчок («волчок» — и есть по-английски «спин»).

Замечательно! Но как понимать слова о вращении электрона? Они же сказаны в то время, когда квантовая механика выбрасывает траектории электрона. Когда она заменяет орбиты «волнами вероятности» и показывает, что бессмысленно говорить о вращении электрона вокруг ядра.

А тут еще «вращение вокруг самого себя»! Да где та ось, вокруг которой вертится электрон? Нет ее. Сам электрон в те годы изображается точкой без всяких размеров, — как в таком случае понимать «вращение точки»? Никак нельзя понимать, и единственное наглядное, казалось бы, представление в атомном мире тут же теряет наглядность.

Нет, это не вращение! Похоже, но совсем не то же. Какое-то очень быстрое (но, конечно, не быстрее света, как думали Уленбек и Гаудсмит) движение электрона. В декабре 1925 года Эйнштейн высказывает мысль, что это движение должно быть объяснимо с позиций теории относительности.

Мысль Эйнштейна будет ждать своего подтверждения три года. Но уже в январе 1925 года швейцарский физик Вольфганг

Паули делает важное открытие, связанное с существованием спина. Самое поразительное, что он еще ничего не знает о спине. Более того, при встрече с Кронигом он отговаривает того от «бредовой» мысли о спине!

Паули приходит к своему открытию, анализируя то же явление Зеемана. Он заключает, что на каждом дозволенном уровне энергии в атоме может находиться не более двух электронов. Если нижние уровни уже заняты, то новоприбывший электрон должен селиться на более высоких уровнях. Обосновать открытую им закономерность Паули не может.

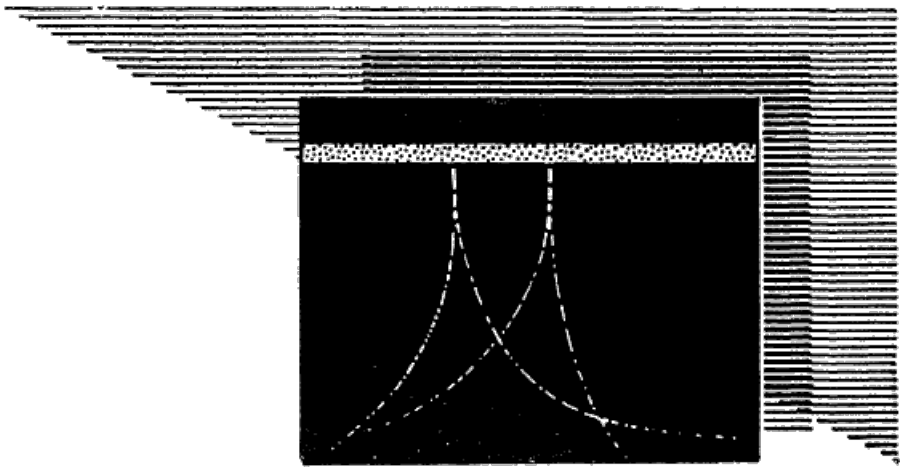
Для этого нужен тот самый спин, который сам Паули отвергает. Но спустя год Паули вынужден изменить свою точку зрения. И тогда оказывается, что принцип, установленный им, универсален. Он равно применим ко всем электронам во всех атомах. Да и не только в атомах — в любых коллективах, в которые природа сводит электроны.

И не только электроны — любые частицы с такой же величиной спина, как у электрона. В частности, принцип Паули вполне применим к протонам. Он оказывается одним из важнейших кирпичей в здании квантовой механики.

Теперь действительно все в сборе.

Экспериментаторы подготовили свое хитроумное охотничье снаряжение. Теоретики подтянули тылы — им предстоит большая работа по разделке охотничьих трофеев. На порог встают тридцатые годы. Охота за частицами начинается!

Глава 4
Частица, выпрыгнувшая из зеркала



О пользе альпинизма

Однажды я отправился с группой альпинистов на Памир. Восхождение было тяжелым. В день удавалось пройти совсем немного. Быстро наступал вечер. Как всегда в горах, сумерек почти не бывало. Солнце сваливалось за горы, и сразу наступала ночь, а с нею холод.

На ветру разбивались палатки, разогревался немудреный альпинистский ужин, и мы залезали в спальные мешки, тревожно прислушиваясь к тому, как ветер свистит и рвет полу палатки. Начинались разговоры, обычно веселые, иногда даже разгорались споры, несмотря на то что за день все доходили до свинцовой усталости.

И однажды кто-то из нас, будучи, видимо, в философском настроении, сказал: «Братцы, а чего мы, собственно говоря, лезем в горы? Что нам, внизу места мало?»

Вопрос, конечно, был полушутливым. Но разгорелся жаркий спор. Ребята в основном были студенты и два-три научных работника. Может быть, поэтому тема спора быстро «съехала» на то, что́ вообще заставляет человека искать неизведанное, подвергать себя трудностям и лишениям. Причем делать это

добровольно и не задумываться над тем, что ждет в конце пути.

«Я думаю, что внизу, в обжитых местах, просто скучновато, — сказал один из нас, огромный парень с совершенно детскими глазами. — Ну, чего я там не видел? А вот здесь, на горе, — все новое, даже облака новые, ветер дует по-другому, чем в долине. А простор какой!»

«Простор в самом деле огромный. На сотни километров видно», — согласился с ним другой студент, такой щуплый на вид, что было просто непонятно, как он тащит на себе рюкзак соизмеримых с ним размеров. Он считался у нас философом, поэтому над ним охотно подтрунивали.

«А зачем тебе видеть на сотни километров? — невинно спросила молодая наша спутница. — Ты что, хочешь быть орлом?» Мы все на минуту представили себе нашего философа в роли орла и весело рассмеялись.

«Нет, братцы, серьезно! — не сдавался он. — Орлу можно позавидовать. Ему бы еще наши мозги. Чтобы он умел обобщать результаты своих наблюдений. Гениальная птичка была бы!»

Мы опять посмеялись и еще немножко поспорили о том, что, в сущности, такое гениальные ученые. Но усталость взяла свое, и спор быстро погас.

Я вспомнил о нем, начав писать эту главу. Да, в словах маленького альпиниста была доля истины. Один из признаков гениальности ученого заключается именно в том, что он, подобно альпинисту, может высоко подняться над долиной привычного, каждодневного и увидеть мир в новом и резком свете гор.

Тяжел, очень тяжел этот подъем на гору. Идешь, идешь, а вершина все далеко. Она словно и не приближается к тебе. Открываются новые широкие просторы, но обязательно горизонт загораживают другие горы. И чем выше, тем круче подъем, тем меньше твердой почвы, на которую можно опереться, тем труднее дышать разреженным горным воздухом.

Но ничего не поделаешь. Любознательность, которая толкает ученых вперед, необорима.

Первые шаги

Отряд альпинистов, совершающих восхождение на гору квантовой механики, множится с каждым годом, с каждым новым успехом. Одним из первых к этому отряду присоединяется молодой англичанин французского происхождения — Поль

Адриен Морис Дирак.

Пока на горе места много. В квантовой механике еще тьма нерешенных проблем. На земном шаре физика пока еще не столь популярна, физики еще не в большом числе. А тех, кто безоговорочно уверовал в истинность новой теории, и того меньше. Как шутливо говорят ученые, давки еще нет.

Дирак разглядывает горизонты. Его внимание привлекает холм неподалеку. Верхушка холма теряется в тумане, но холм не кажется недоступным. Неприятно то, что он загораживает внушительную часть горизонта.

Дираку только двадцать с немногим лет, и он полон юношеского задора. Он решает отколоться от основного отряда альпинистов и в одиночку покорять холм. На языке физики сей холм называется — «синтез квантовой механики и теории относительности».

Старая квантовая теория Нильса Бора позволила подсчитать, что электроны в атомах движутся с весьма высокими скоростями — в десятки тысяч километров в секунду. Правда, это еще далековато от скорости света, которая составляет триста тысяч километров в секунду.

Теория относительности Альберта Эйнштейна — она в тот год может отметить свое двадцатилетие — говорит, что все удивительные вещи с телами начинают отчетливо проявляться лишь при скоростях тел, довольно близких к скорости света. Во всяком случае, при скоростях порядка сотни тысяч километров в секунду.

К таким скоростям электроны могут приближаться лишь в самых тяжелых атомах, заполняющих последние клетки периодической таблицы химических элементов. Но не это обстоятельство занимает сейчас Дирака. Раз в принципе околосветовые скорости электронов возможны, значит, в квантовую теорию надо включить и их. Если хотите — впрок.

С самого начала выясняется, что забраться на холм не так-то просто. Первые же камни, на которые ступает Дирак, ускользают из-под его ног.

Теория относительности резко разграничивает движения со скоростями меньше и больше скорости света. Первые — возможны, вторые — нет. Квантовая механика, однако, не столь категорична в своих суждениях. Вспомним хотя бы гейзенберговские соотношения неопределенностей. Они утверждают, что, чем определеннее мы пытаемся узнать место, где находится частица, тем более неопределенной становится ее скорость.

Это глубокое различие в подходе двух теорий — теории

быстрых движений больших тел и теории медленных движений маленьких тел — в те годы еще не осознается физиками. Дирак видит лишь, что решения составленного им уравнения, которое является развитием основного уравнения квантовой механики на быстрые движения, не обладают релятивистской инвариантностью.

Ворота в рай

Страшные это слова — «релятивистская инвариантность». Страшные своей неумолимостью. Если теория не обладает этим свойством, физики без разговоров сдают ее в архив. Все равно прока от нее не будет.

Что же означают эти страшные слова? Не удивляйтесь: вам, оказывается, хорошо известен скрытый в них смысл. Еще в первые годы изучения физики в школе вы узнаёте такое важное понятие, как система отсчета для движения тел, и такое важнейшее положение, что законы движения тел не должны зависеть от того, как вами выбрана система отсчета, в которой изучаются эти движения. Это и понятно: представляете себе, какой произвол воцарился бы в мире в противном случае!

Вам известны и приводимые тому примеры. Если вы играете в волейбол на равномерно плывущем пароходе, то мяч летает точно так же, как если бы вы играли на лужайке. И уравнения движения этого мяча в «системе отсчета» судьи, сидящего на вышке, ничем не отличаются друг от друга в обоих случаях.

Точно так же нет различия между тем, как идут ходики в равномерно движущемся поезде или в доме стрелочника на полустанке, мимо которого проносится поезд. И в том и в другом случае движение маятника часов описывается одним и тем же уравнением.

На языке физики это положение называется принципом относительности Галилея. Почти три века в справедливости этого принципа никто не сомневался.

Но вот приходит Альберт Эйнштейн и доказывает, что принцип Галилея верен лишь для сравнительно медленных движений тел. Для быстрых движений он принимает иной вид. Теперь его надо заменять принципом относительности Эйнштейна.

Здесь мы не будем описывать открытия Эйнштейна. Это описание можно найти в любой популярной книге по теории

относительности. Укажем лишь на гораздо более высокую требовательность этого принципа.

Принципу Галилея часто угодить довольно легко. Как выразился один физик, «этот принцип протестует только в том случае, когда к нему подносят на проверку теории неравномерных, ускоренных движений».

Принцип Эйнштейна гораздо более разборчив. Со времени своего открытия он успел отвергнуть множество скороспелых теорий, на вид таких правильных и убедительных. Прошли старые добрые времена. Теперь ворота, через которые может пройти в рай физическая теория, стали очень-очень узкими.

На теориях, не пролезших сквозь эти ворота, принцип Эйнштейна ставит железное клеймо: «релятивистски неинвариантны». А по-русски: «уравнения и решения теории зависят от выбора системы отсчета при движении тел с околосветовыми скоростями».

Странный «минус»

Жаль, думает Дирак. Придется искать другие, обходные пути на холм. С принципом Эйнштейна не спорят.

После раздумий Дирак составляет другое уравнение. Оно гораздо сложнее первого, но в одном печалиться нет оснований. Строгая проверка его решений показывает, что на сей раз они релятивистски инвариантны. Причем — все.

Как это понять? Разве у уравнения Дирака не одно решение? Оказывается, нет: оно имеет целых четыре решения! И вместе с тем все они описывают один и тот же электрон.

Понять смысл первых двух решений удается сравнительно быстро. Осматривая окрестности с высоты первой завоеванной ступеньки, Дирак замечает явление, открытие которого имеет к тому времени почти трехлетнюю давность. Это открытие спина Уленбеком и Гаудсмитом, о чем мы уже рассказывали в предыдущей главе.

Погрешив против истины, ученые вначале для простоты объясняли спин, как некое «собственное вращение» электрона. И летящий электрон уподобили снаряду, выпущенному из нарезного орудия: он и летит и вращается одновременно.

Почему бы не существовать орудиям как с правой, так и с левой нарезкой? Тогда один снаряд вращался бы в полете по часовой, а другой — против часовой стрелки. Спин такого

снаряда в одном случае «смотрел» бы, например, вдоль, а в другом — против направления движения.

Не все ли равно? Действительно, оба направления вращения нельзя никак отличить друг от друга не только у снарядов, но и у электронов. Так будет казаться физикам еще добрых тридцать лет. И только тогда выяснится, что… впрочем, всему свое время.

Пока что Дирак принимает, что для электрона возможна как правая, так и левая «нарезка». Этим двум направлениям спина и отвечают первые два решения. Остаются еще два. С ними дело обстоит гораздо сложнее.

Вернее, с одним из них. Как оказывается, оно соответствует отрицательной полной энергии электрона.

Что же в этом необычного? Физикам отрицательная полная энергия в диковинку. Она отвечает несвободным частицам, например электронам в атоме, в куске металла и вообще в любой яме. Собственно, отрицательность энергии означает лишь, что частица не может двигаться, как ей вздумается. Она находится в коллективе других частиц, связана в нем, а значит, следует правилам поведения, принятым в этом коллективе.

Но уравнение Дирака написано ведь для совершенно свободного электрона!

Да, интересное положение…

Потенциальная энергия у любой свободной частицы, как известно, равна нулю, и полная ее энергия совпадает с кинетической. Отрицательная кинетическая энергия! Мы с этим уже встречались: помните туннельный эффект?

Только там это на поверку оказалось фикцией, а здесь — чистой явью. И следствие этого вам тоже понятно: значит, отрицательна масса электрона.

Замечательно! Если бы из таких, с позволения сказать, частиц состоял, например, поезд, то он двигался бы сверхоригинально. Локомотив тащил бы его, скажем, в Ленинград, а поезд преспокойно удалялся бы в Москву!

Дирак и сам понимает, что это «замечательно». Любой человек на его месте поступил бы так, как делает, когда у него в ответе получается: «площадь дома равняется ± 100 квадратных метров». Отбросил бы минус, как не имеющий никакого физического смысла.

Дирак, как англичанин, может быть полон здравого смысла. Но как истинный ученый, он пытается докопаться до происхождения этого «минуса».

Проходит немного времени, и Дирак превращает странный «минус» в один из самых выдающихся «плюсов» за всю историю физики!

Довольно быстро выясняется, что все становится на свои места, если отрицательную энергию приписать положительно заряженной частице. Такая частица физикам известна — это протон.

Можно обрести успокоение, но ненадолго. Спустя полгода Роберт Оппенгеймер доказывает, что такой частицей протон быть не может. Он слишком массивен: положительная частица должна иметь такую же массу, что и электрон.

Ох, этот Роберт Оппенгеймер! Блестящий ученый, отличный организатор (это он руководил работой ученых по созданию американской атомной бомбы), многогранно одаренный человек. Но странный талант: он открыл много дверей в мир неизведанного, а не вошел ни в одну из них. История науки знает таких людей. Они первые дают сигнал к атаке, но наступление продолжается без них. Они же тем временем готовят удар на другом участке фронта.

Но история науки знает и других людей. Эти ученые долго и напряженно работают в сравнительно узких областях, но зато расширяют их до огромных пределов. Таким ученым был, например, Эйнштейн. Известный философ Людвиг Берне, друг Карла Маркса, с полным основанием мог бы, пользуясь своей классификацией характеров, назвать талант Оппенгеймера «эллинским», а гений Эйнштейна — «иудейским».

Ох, этот «эллин» Оппенгеймер! Дирак со вздохом поднимает свой рюкзак, который было снял, присев отдохнуть. Надо продолжать восхождение.

Теперь предстоит выяснить, как «влетела» в уравнение для электрона какая-то посторонняя частица. Да еще и похожая как две капли воды на электрон, разве только с противоположным по знаку электрическим зарядом.

А может быть, эта частица вовсе не посторонняя? Может быть, она связана с электроном какими-то пока неведомыми узами? Например, узами братства? Допустим. Но в таком случае поиски обращаются на их возможного родителя. Чем может быть этот родитель?

И снова напряженное раздумье…

Рождается совершенно безумная, на первый взгляд, мысль: электрон и его зеркальный брат совместно рождаются… из

пустоты! Пустота, вакуум, как ее называют физики, — вовсе не пуста! Напротив, она до отказа забита электронами! Положительный же двойник электрона — это дырка в заполненной пустоте!

Безумие действительно налицо. Так, во всяком случае, кажется вначале. Но подождем делать такой вывод. Пройдем за Дираком по отвесному пути его рассуждений.

Переполненная пустота

Прислушаемся к беседе, которую ведут сторонник Дирака и еще не обращенный в новую веру его противник.

Говорит сторонник:

— Каким вы назовете пространство, в котором никаким прибором не обнаружить ни одной частицы?

— Ну конечно, совершенно пустым, — отвечает противник.

— А если в этом пространстве есть частицы, которые просто лишены возможности проявить себя, войти в контакт с прибором? Даже если в пространстве полным-полно частиц, вы все равно будете считать его пустым?

— Разумеется! Но позвольте задать вопрос. Как частицы могут лишиться способности взаимодействовать? Если ваши электроны не входят в контакт с измерительным прибором, значит, они и друг с другом не взаимодействуют! Прибор ведь состоит в конечном счете из тех же электронов.

— Правильно.

— Не правильно, а чепуха! Частицы не могут не взаимодействовать, это противоречит самой сущности вещей! — начинает волноваться противник.

— Тоже правильно, — по-прежнему спокойно отвечает сторонник.

— И то правильно, и это правильно? Ничего не понимаю!

— Не волнуйтесь, я вам сейчас объясню. Давайте приложим к куску металла электрическое поле. Пойдет ток, и вы скажете, что в металле есть свободные электроны.

— Верно, — кивает противник.

— А есть ли в металле еще что-нибудь, кроме этих электронов? — спрашивает сторонник.

— Конечно: еще атомы.

— Простите, а как вы это узнали?

— Можно, например, так. Осветим металл рентгеновыми

лучами. При высоких энергиях фотоны этих лучей будут вырывать из атомов электроны.

— Значит, при меньшей энергии металл у вас состоит как бы из одних свободных электронов, а увеличили энергию — и появились атомы?

— Конечно, нет! Просто тот вид внутренней структуры, который мы обнаруживаем, зависит от той энергии, с которой мы ее прощупываем.

— Ага! Так почему же вы не хотите понять, что можно взять такую энергию, при которой и пустота обнаружит свою структуру?

Противник снова разводит руками:

— Не понимаю. Пустота — всегда пустота. В ней ничего нет и быть не может.

— Ну, а все же представьте себе пустоту, до отказа забитую электронами. Они ведь не смогут взаимодействовать ни друг с другом, ни с приборами.

— Почему?

— А потому, что это означало бы изменение их энергии. Ведь при взаимодействии одна из частиц всегда что-то теряет из своей энергии, а другая что-то приобретает. И частицы должны занять новые уровни энергии.

— Но где же они могут найти такие уровни? Вы говорите, что все уровни у вас заняты. А как доказал недавно Вольфганг Паули, каждый уровень энергии может быть занят только двумя электронами. Если к ним придет третий, они его не пустят, — недоумевает противник.

— Значит, нет таких свободных уровней?

— Нет.

— Вот потому-то электроны, даже если они сидят в пустоте так же тесно, как сельди в бочке, не могут взаимодействовать друг с другом или с прибором! Но… только до тех пор, пока им не будет сообщена достаточная энергия, чтобы электроны могли выпрыгнуть из пустоты. Как только это произойдет, частицы уже можно будет обнаружить: они приобретают возможность взаимодействовать.

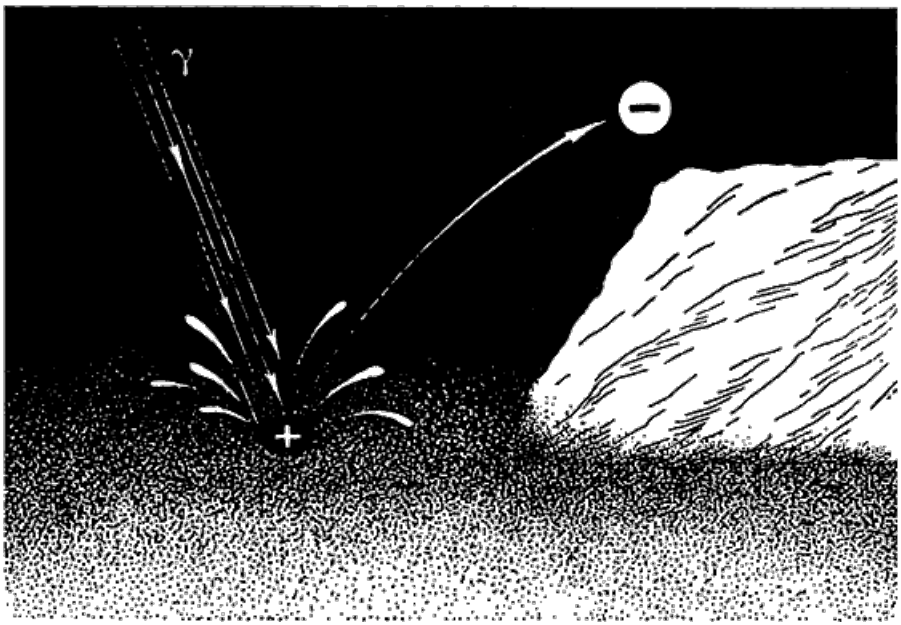
— Что же это за энергия? — начинает понемногу сдаваться противник.

— Давайте сообразим. Электрон должен родиться из пустоты, имея по меньшей мере свою собственную энергию покоя. По закону Эйнштейна эта энергия равна произведению массы покоя электрона на квадрат скорости света.

— Значит, электронам в вакууме надо передать минимум такую энергию?

— Нет, не совсем так. Вы не учли того, что станет с вакуумом после вылета из него электрона. А это надо учитывать.

— А-а, понятно. Учитываю. В заполненной электронами пустоте при этом образуется пустое место. Бр-р-р! Вы меня извините. Говорю, а сам содрогаюсь от своих слов!



Так можно представлять себе «переполненную пустоту» — океан Дирака. Удар по этому океану достаточно энергичным фотоном выбрасывает на берег брызги — электрон, а в пустоте остается дырка — ничуть не менее реальный позитрон. Другими словами, такая картинка изображает превращение гамма-кванта в пару из электрона и позитрона.

Но сторонник лишен жалости. Он продолжает убеждать:

— Назовем это пустое место дыркой. Она имеет заряд.

— Конечно. Раз пустота в целом нейтральна, то вылет из нее электрона должен сообщить ей, то есть дырке, положительный заряд, чтобы эта нейтральность сохранилась.

— Вот-вот. И масса у этой дырки должна быть. Такая же, как у электрона. И на рождение дырки нужно затратить ту же энергию, что на электрон, а всего на пару из электрона и дырки — двойную энергию. Это примерно миллион электрон-вольт.

— Немало.

— Верно, немало. Но при меньшей энергии обнаружить структуру вакуума, теперь вам понятно, невозможно. А если по

пустоте ударить с такой или с большей энергией, например, фотоном, то из нее выскочат сразу две частицы — электрон и его зеркальный брат. Назовем этого брата позитроном.

— Уфф! Кажется, теперь я понял!

По горячему следу

Так в начале тридцатых годов была предсказана новая частица. Были установлены ее вид и повадки, из коих главная та, что эта частица рождается в паре с электроном. И должна умирать также вместе с электроном, отдавая при этом, как и электрон, всю ту энергию, которую они получили при своем рождении или приобрели при своей жизни.

Далеко не все ученые верят в находки, полученные теоретиками на кончике пера. В теорию относительности многие уверовали лишь после того, как в 1919 году астрономы подтвердили предсказываемое ею искривление световых лучей вблизи крупных небесных тел.

Так и теперь. Слово за физиками-экспериментаторами. Подтвердят ли они существование новой частицы?

Экспериментаторы берут это дело на заметку. К списку разыскиваемых частиц прибавляется еще одна. С еще большим вниманием просматриваются тысячи фотографий, снятых в камере Вильсона.

На этих фотографиях оставляют следы миллионы космических частиц. Миллионы частиц — миллионы разнообразных событий. И где-то в этих джунглях переплетающихся следов, толстых и тонких, прямых и изогнутых, неожиданно прерывающихся, расщепляющихся на другие следы, — где-то здесь наблюдателя ждет след, оставленный новой, пока неведомой частицей.

Ни одна черточка на фотографии не должна ускользнуть от внимания ученых. А так легко пропустить ее, так легко необычный след принять за привычный, неинтересный. И тогда в стопке уже просмотренных фотопластинок безвозвратно затеряется интереснейшее событие.

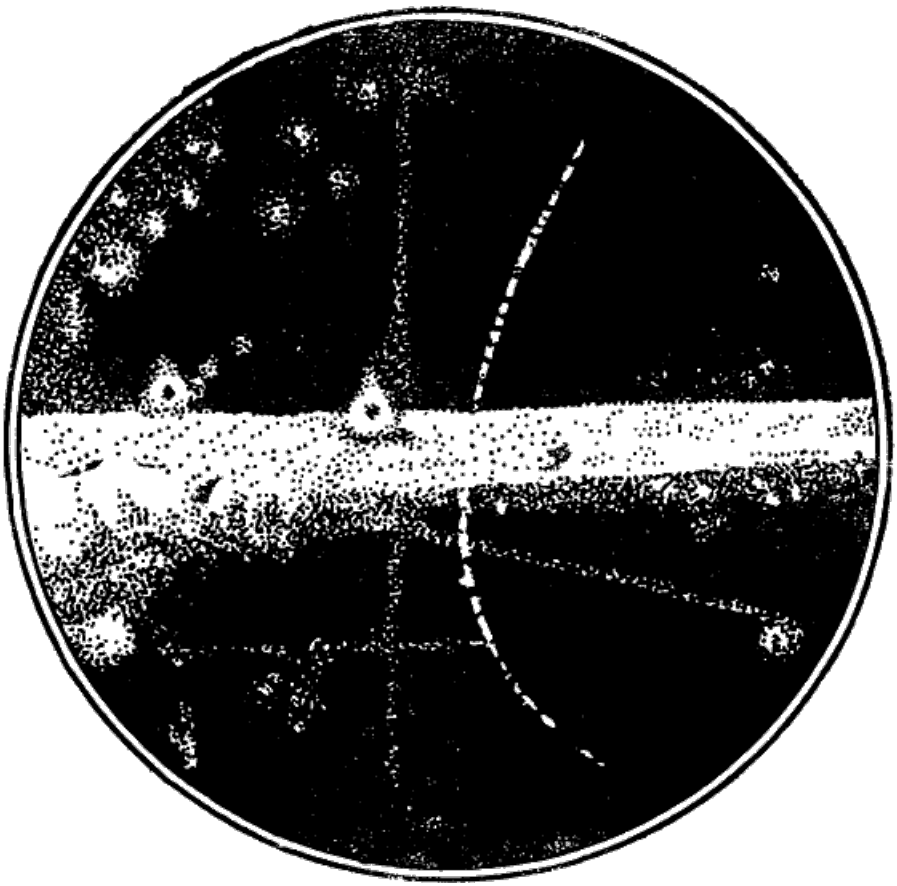
Может быть, его уже годы тщетно ждут теоретики. И придется им тогда снова ждать и ждать, пока редкое событие снова удастся схватить на фотопластинке.

Сколько интересных явлений на фотопластинках пропустили экспериментаторы в ранние годы изучения космических лучей!

Трудно винить их в этом. Они знали, как наблюдать, но не ведали, что именно надо искать. А не ведали потому, что этого не знали и теоретики.

Но вот в начале 1932 года американский физик Карл Андерсон, изучая снятые на космическом излучении фотографии в камере Вильсона, обнаруживает интересный след.

Вот он, воспроизведен на рисунке.



Первая фотография позитрона. Он пришел сверху, замедлился в свинцовой перегородке и пропал в нижней части камеры Вильсона, где слился с электроном. Если бы этот след оставил электрон, то магнитное поле в камере должно было бы закрутить его в обратную сторону.

Темное поле снимка пересекает толстая горизонтальная полоса — это свинцовая пластинка. Искривленный след говорит о том, что камера работала в сильном магнитном поле. Как мы уже рассказывали выше, такой режим работы камеры впервые осуществил наш замечательный физик Дмитрий Владимирович

Скобельцын.

Добавим еще, что снимок ориентирован так же, как и фотопластинка в камере Вильсона: верхняя его часть отвечает участку камеры над свинцовой пластинкой.

Чем же интересна эта фотография?

Сядем вместе с Андерсоном и его коллегой Сетом Неддермайером и займемся анализом снимка. Так сказать, проникнем не в обычную, а в творческую лабораторию ученых.

Необычный след

Сначала идет общее изучение «охотничьей территории». След тонкий, пунктирный. Значит, он принадлежит частице с небольшой массой. По мере удаления от свинцовой пластинки пунктир становится все более редким и наконец прерывается.

В начале своего пути «зверь» энергично задирал встречные молекулы газа, срывая с них электронные «шкуры». Затем, все более растрачивая свою энергию, он все менее мог противостоять сбивающему с пути ветру — магнитному полю: след становился все более искривленным, пока наконец зверь не свалился без сил. Частица тогда затормозилась настолько, что вообще перестала ионизировать встречные молекулы. Тут след и оборвался.

Что с частицей случилось потом?

Об этом мы поговорим ниже. Охотников пока что это не интересует.

А теперь — о необычном. След закручен в сторону, противоположную той, в которую должен был бы быть закручен след электрона. Электрон искривил бы свой путь вправо.

А эта частица закручивается влево, как и полагается… чему?

Андерсон и Неддермайер пытаются сначала предположить, что этот необычный след тоже принадлежит электрону. Только почему-то этот электрон, вместо того чтобы подобно всем космическим частицам двигаться сверху вниз, выбрал обратное направление. Да еще, пройдя через свинцовую пластинку, не уменьшил, а увеличил свою энергию. Диковинный случай, что и говорить!

Наши охотники умышленно сверхосторожны. Семь раз отмерь — один раз отрежь! Это неписаное правило стоит одним из первых в кодексе ученых.

И все же тщательный анализ показывает, что электрон не мог прийти снизу. Даже если бы он преодолел свинцовую пластинку,

то потерял бы почти всю свою энергию. Этого, однако, не видно.

Остается единственный вывод: след принадлежит движущейся вниз положительной частице.

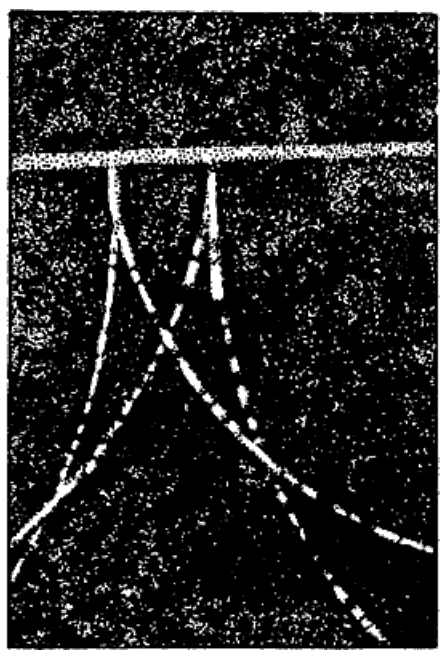
И эта частица не протон! Протон такой энергии оставил бы толстый короткий след.

Итак, верхний след может принадлежать только положительной частице с массой, близкой к массе электрона. До сих пор такая частица не наблюдалась. Теперь капкан захлопнулся, частица поймана.

Но Андерсон и Неддермайер не торопятся с выводами. Новые и новые фотоснимки ложатся на стол исследователей. А за океаном в охоту включились еще двое ученых — англичанин Патрик Блеккет и итальянец Джузеппе Оккиалини. Они тоже придирчиво изучают снимки, сделанные с помощью еще более совершенной камеры, чем прибор американских охотников.

К концу 1932 года последние сомнения рассеиваются. Поймана новая частица. Эта частица — тот самый зеркальный двойник электрона. Он получает название позитрона.

Вот один из таких «несомненных» снимков. Прилетел сверху космический фотон. По его энергии, а она, видимо, значительно превышает миллион электрон-вольт, — это фотон довольно жестких гамма-лучей. Или, как его называют проще, — гамма-квант.



Свисающие со свинцовой перегородки «усики» — следы

электронно-позитронных пар, образованных в перегородке пришедшими сверху гамма-квантами. Видно, что каждый из следов в паре закручен магнитным полем в разные стороны.

Гамма-квант молекул газа практически не ионизирует, а потому в камере следа не оставил. Влетел фотон в свинцовую пластинку, и… остальное видно прямо глазом. Сотворил этот фотон в свинцовой пластине пару из электрона и позитрона, вылетела эта пара из пластины. Начало магнитное поле сбивать новорожденных братьев на кривую дорожку. И разошлись пути зеркальных братьев: положительный налево пошел, а отрицательный направо.

Вот и сказочке конец… Остается дописать лишь некоторые подробности о рождении и смерти позитрона.

Рождение и смерть позитрона

Сегодня физики уже не лезут на холм по тому пути, который проложил Дирак. Этот путь все же довольно извилист. Они предпочитают более прямой маршрут, который был освоен учеными в последующие годы.

Этот маршрут мысли можно коротко выразить следующими четырьмя словами: «поле превращается в вещество». Но за этими краткими словами стоит целая эпоха в развитии физики.

Мы не историки этой эпохи. Мы не можем останавливаться на всех перипетиях увлекательной судьбы коренных физических понятий, таких, например, как упомянутые выше поле и вещество.

Образно говоря, и то и другое вырвалось из тех рамок, в которые их поставили физики. Будучи разлучены их родителями, они все же сумели ускользнуть из-под родительской опеки и соединились на радость и на горе физикам.

На радость, потому что было открыто исключительно важное новое свойство материи. На горе, потому что физикам — уж в который раз! — пришлось ломать здание своих представлений, чтобы уделить в нем место новой закономерности.

Именно закономерности. Ибо превращение гамма-кванта в пару из электрона и позитрона, иными словами — превращение кванта электромагнитного поля в две вещественные частицы оказалось не единичным, а совершенно универсальным событием в атомном мире.

Фотон при таком превращении всю свою энергию без остатка отдает своим наследникам, а сам исчезает. Если его энергия значительно превышает удвоенную энергию покоя электрона, то избыток переходит в солидную кинетическую энергию обеих частиц.

Куда же заводят зеркальных братьев их кривые дорожки? Электрон, постепенно растратив свою энергию, будет, скорее всего, съеден каким-нибудь ионом, встретившимся на его пути. С позитроном могут случиться более интересные приключения.

Он может, например, подойти к атому и соединиться с одним из его электронов. Произойдет микровзрыв, и вся энергия, которой обладали «покойные» частицы, перейдет в энергию двух или трех гамма-квантов, а те разлетятся по разным направлениям.

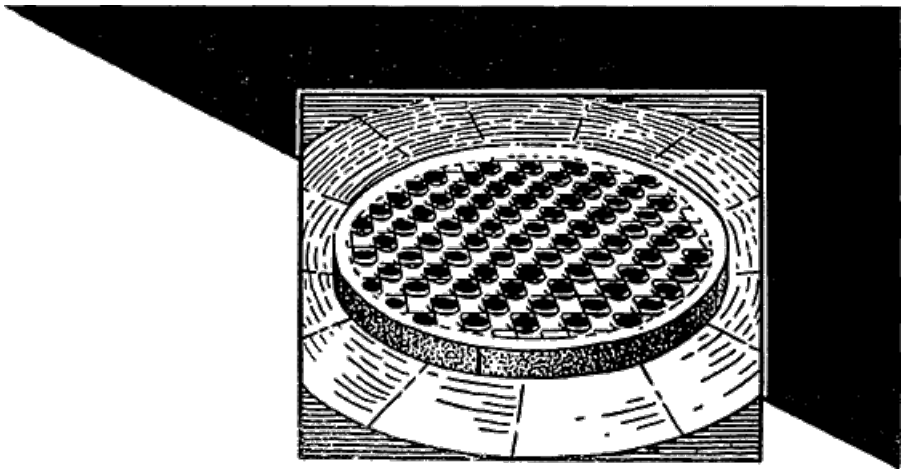
Может позитрон встретиться и со свободно гуляющим в камере электроном. При этом, прежде чем слиться, обе частицы предпочитают сначала немного повальсировать друг подле друга, образовав некое подобие атома водорода. С той, однако, разницей, что при этом уже нельзя сказать, какая из частиц неподвижна, а какая кружится возле нее: обе частицы одинаковы по массе. Такой «атом» физики назвали позитронием.

И здесь позитрон в конце концов (спустя миллиардные доли секунды) кончает свою жизнь, исчезая в паре с электроном. Это исчезновение физики неудачно окрестили латинским словом «аннигиляция», что по-русски означает «превращение в ничто».

Так еще можно было говорить в первые годы после открытия Дирака. Но, с тех пор как место пустоты заняло в рассуждениях физиков поле, аннигиляцию приходится понимать как превращение вещества в поле. И круг замыкается: поле рождает частицы, частицы рождают поле. Вечный круговорот вещества и поля.

Позитрон открыл собой целый список античастиц. О том, как искали их охотники за частицами, мы расскажем в последующих главах.

Глава 5
Открытие невидимки



Изгнание электрона

Наука — та же армия. Наука никогда не ведет наступление с одинаковой силой по всем фронтам. Сегодня — прорыв оборонительной полосы на одном участке фронта, завтра — на другом, послезавтра — на третьем. Только эти «сегодня», «завтра» и «послезавтра» подчас отделены друг от друга десятилетиями.

Неизмеримо широк фронт физики — от мельчайших частиц до гигантских галактик. Одновременное широкое наступление по всему фронту невозможно. Но когда идет успешное наступление на одних участках, на других не спят. Там внимательно прислушиваются к близкой канонаде и ждут своего часа.

В двадцатых годах нашего века в физике все более явно обозначается новый фронт — атомное ядро. Вслед за первыми, поразившими воображение ученых опытами Резерфорда следуют новые энергичные попытки расщепления ядер. И в результате ядро становится в представлениях ученых все более сложным, все более трудным для понимания.

В самом деле, на их глазах представление о ядре — скопище враждующих протонов, удерживаемых от разлетания лишь электронным клеем, становится все менее убедительным. Уже

несложный расчет показывает, что ядро на электронном клею должно быть непрочным. Во всяком случае — ненамного прочнее атома.

Атом же, в сущности, не очень прочная конструкция. Высокие температуры, химические реакции, облучение светом и рентгеновыми лучами способны отрывать от него целые куски. Нам уже понятно, что речь идет об ионизации атомов. При достаточном усилии с атомов можно содрать даже всю электронную «шкуру» и оставить одно голое ядро.

Но, с другой стороны, это самое ядро не поддается никаким усилиям физиков. Высочайшие температуры и давления, сильнейшие электрические поля, самые ярые химические реакции не оказывают на него ни малейшего воздействия. Ядро, видимо, способно откликаться лишь на те частицы, которые оно само же породило. Так, например, и случилось в опытах Резерфорда по бомбардировке ядер альфа-частицами.

Получается так, как будто ядро — рекордсмен прочности в природе. Выходит, что цемент, на котором оно замешано, — не электронный цемент.

А квантовая механика добавляет к этому заключению еще одно неоспоримое свидетельство. Она утверждает, что электроны просто-напросто не могут поместиться в ядрах.

Поначалу это может обескуражить. Еще в начале века Гендрик Лоренц подсчитал по старой физике радиус электрона. Он оказался порядка десятитриллионных долей сантиметра. Опыты двадцатых годов, с другой стороны, показывают, что ядра атомов должны иметь размеры того же порядка. Почему же в таком случае электроны должны выпирать за рамки ядра?

Дело, однако, оказывается не столь простым. Квантовая механика — и не без оснований — утверждает, что электрон, а с ним, разумеется, и все другие кирпичики вещества — это не точки и не шарики вполне определенных размеров. Это, скорее, некие облачка, не имеющие никаких строгих границ, — «облака вероятности».

Что ж, теперь, когда мы немного познакомились с квантовой механикой, это не должно вызывать у нас особого удивления. Помните волну вероятности? Она же, строго говоря, не имеет в пространстве ни начала, ни конца — на то она и волна! Но зато, с другой стороны, она не одинаково сильна: облачко, которым теперь представляется частица, в одних местах очень густое, а во всех остальных — почти совершенно прозрачное. Что-то вроде клуба дыма.

Понятно, что чем больше вероятность пребывания частицы в таком-то месте, тем гуще в этом месте «дым». Поэтому физики

чисто условно провели границу частицы там, где облачко становилось практически совершенно прозрачным.

Таким «дымовым клубом» физики представили и ядро. И оказалось при этом, что «клубы» протонных облаков, очень крошечные, хорошо укладывались в размеры (конечно, условные) ядра. Тогда как электронные облака расползались чуть ли не по всему атому, имеющему в тысячи раз бóльшие размеры.

Да, электроны явно не умещались в ядрах! Как же быть? И физики после долгих размышлений лишили электрон пристанища в ядре.

Но это было лишь полдела. Ядро продолжало себе спокойно жить и не разлетаться на кусочки даже без электронов. Какая-то пока неведомая причина не только удерживала от разлета бешено враждующие протоны (на таких малых расстояниях, как в ядре, сила их электрического взаимного отталкивания колоссальна!), эта причина сплачивала протоны в такие поразительно прочные коллективы, что их никакое усилие не брало. Было над чем ломать голову!

А что же квантовая механика? Чем она скрепила ею же «разрушенные» ядра?

Да ничем. Она сама пока не может сказать ничего положительного. Молчат теоретики. Слово за экспериментаторами.

Ядерные артиллеристы

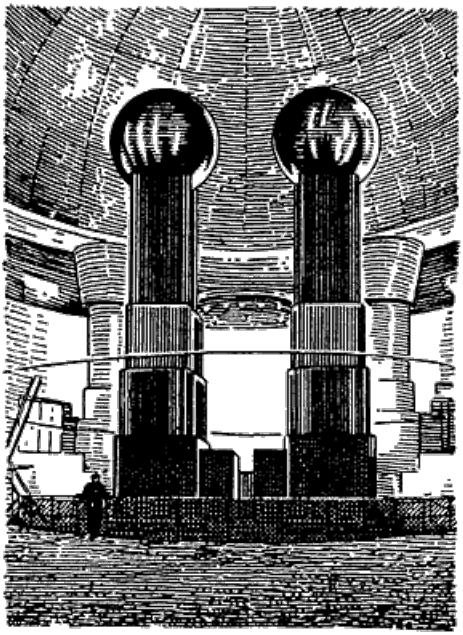
А те пока безмолвствуют. Но они работают. Работают усерднее, чем когда-либо.

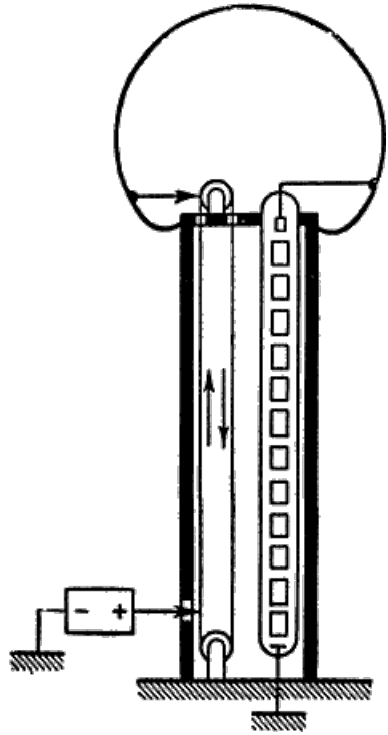
Если бы в начале тридцатых годов мы с вами заглянули в одну из немногочисленных в то время лабораторий ядерной физики, нам бы представилась картина, совсем не похожая на ту, что была в начале века.

За каких-нибудь тридцать лет эти лаборатории неузнаваемо изменились. Вместо крошечных клетушек — большие помещения, неуютные, холодные — почти что сараи. Около огромных колонн хлопочут люди. На верху колонн смутно поблескивают большие шары. Провода от них тянутся вниз, к длинной трубе, около которой деловито стучат насосы.

Вся установка имеет какой-то марсианский вид. Но она — вполне земное изобретение. Это первый ускоритель заряженных частиц, изобретенный голландским ученым Альбертом Ван-де-

Граафом.





Ускоритель Ван-де-Граафа. В высокой полой трубе движется лента, накапливает электрический заряд и передает на электрод ускорительной камеры высокое, до нескольких миллионов вольт, напряжение. (Вам будет интересно узнать, что, прогуливаясь по ковру, вы тоже представляете собой как бы маленький Ван-де-Граафов генератор: разность потенциалов между вами и землей может дойти до десятков тысяч вольт!) Под действием миллионовольтного напряжения электроны в ускорительной камере набирают почти околосветовую скорость. Протоны в такой камере тоже набирают скорость порядка десятка тысяч километров в секунду.

Физики тех лет вряд ли знакомы с Мичуриным. Но на их знамени — тот же известный мичуринский девиз: «Не ждать милостей у природы!»

Не ждать, пока редчайшая частица космических лучей влетит в ядро и расщепит его, да еще так, как это нужно ученым. Не ждать, пока тоже редкая альфа-частица из препарата радия натолкнется на ядро. Самим создавать мощные и быстрые потоки ядерных частиц!

Но сделать это совсем не просто. Прежде всего, какие частицы взять? Электроны? Можно. Но недолгий опыт уже показывает, что расщепление ядра электронами не вызвать. Это, кстати, еще одно свидетельство того, что в ядре электронов нет. Выбитый из ядра электрон сделал бы ядро неустойчивым. Оно должно было бы избавиться тогда от ставшего лишним протона. Однако этого никто никогда не замечал.

Значит, не электрон. Взять альфа-частицы, как это делал отец ядерной физики Резерфорд? Не очень удобно: альфа-частицы несут двойной электрический заряд, а значит, довольно сильно отталкиваются ядрами, у которых заряд имеет тот же знак. Да к тому же это составные частицы. Вылетит из ядра частица — и надо соображать, кому же она принадлежала: альфа-частице или ядру?

Остается протон — частица приятная во всех отношениях. Получить ее в чистом виде нетрудно: достаточно содрать электронную «шкуру» с атомов водорода. А этих атомов — хоть пруд пруди. Далее, частица эта — самая простая, оттого и названная протоном. Так что любое ядерное явление тоже будет происходить в «чистом» виде. Наконец, заряд протона вдвое меньше, чем у альфа-частицы, так что отталкиваться ядрами он будет вдвое слабее и легче сможет проникнуть в них.

Итак, протон. Остается лишь разогнать его до такой энергии, чтобы он смог пробить стену, которой отгородилось от внешнего мира ядерное семейство. Снаряд есть, нужна пушка. «Марсианское» сооружение в большом полутемном сарае — и есть первая такая пушка.

Ствол ее — та длинная труба, присосавшись к которой хлопочут насосы. Снаряд должен лететь в пустоте, чтобы зря не растрачивать свою энергию по дороге к цели. А растратить ее можно без труда в столкновениях с атомами воздуха. Поэтому и стучат насосы, выгоняя воздух с пути полета снаряда.

А порох для пушки добывается в тех самых колоннах с шарами. Движется вдоль колонны длинная шелковая лента, трется, набирает заряд, накапливает его в огромном шаре — совсем так, как набирает заряд любой из нас, прогуливаясь по ковру. Накапливается заряд, нарастает электрическое напряжение на шаре. Сто, двести, пятьсот тысяч, миллион вольт! И вдруг голубоватая искра проскакивает между шарами, словно маленькая молния, и легкий гром сотрясает здание.

Это сработал разрядник, которым измеряют напряжение на шаре. Теперь один шар отодвигается. И снова движется лента, и снова накапливается заряд, растет напряжение. Растет оно и у исследователей. Вся атмосфера в прямом и переносном смысле

насыщена электричеством!

Теперь опыт. Тоненькая струйка газа из баллона со сжатым водородом попадает в камеру, где горит, не прерываясь, вольтова дуга. В ее пламени молекулы водорода разбиваются, сталкиваясь друг с другом в вихревой пляске, на отдельные атомы. А сами атомы, ударяясь друг о друга, срывают свои электронные одежды. И небольшое электрическое поле вытаскивает протоны из этого огненного вихря, как каштаны из огня, в длинную трубу.

Там протоны подхватываются мощным электрическим полем. В ничтожные доли секунды — не запечатлеть никаким киноаппаратом! — они проносятся сквозь трубу, пронзают тонкую заслонку на ее конце и врезаются в мишень, где покорно ждут своего часа изучаемые ядра.

Мгновение, и град неуловимых ударов сотрясает ядерные постройки. Во все стороны летят осколки. Тысячи их пропадают по дороге, застревают в самой мишени. Десятки вылетают наружу, где их подстерегают, как зайцев, выгнанных собаками, охотники. За осколками ядер следят внимательные глаза приборов. Ничто не должно быть упущено!

Открытие Чэдвика

Постройка генератора Ван-де-Граафа заканчивается в 1932 году. В том же году английские физики Джон Конрофт и Эрнст Уолтон создают еще более мощную и менее громоздкую пушку для стрельбы протонами по ядрам.

Теперь, кажется, удастся сорвать замки с тайны великой прочности ядер. Теперь перед протонами с энергией в миллионы электрон-вольт не должно устоять ни одно ядро.

Природа словно предугадывает намерения физиков. Она открывает им волнующую тайну, и еще до того, как пущен в ход первый ускоритель протонов.

В кембриджской лаборатории Резерфорда работает Джеймс Чэдвик. Он ищет новую атомную частицу, но пока его преследуют неудачи. Новая частица не показывается. Какие же основания искать ее?

Только одно. Еще в 1923 году Резерфорд предположил, что может существовать электрически нейтральная частица с массой такой же, как у протона. Это было гениальным предвидением — иначе не назовешь! Потому что, высказывая свою мысль, Резерфорд не опирался ни на какие убедительные расчеты.

Электрон еще прочно занимал свое место в ядре, и никому из физиков в те годы и в голову не приходило усомниться в этом.

Молодой ученик Резерфорда по заданию учителя ищет эту частицу. Ищет, ищет… а между тем она уже несколько лет, как показалась на глаза! Сколько раз было — и сколько раз еще будет так: ходишь вокруг тайны, не зная, как к ней подступиться, а она уже вся перед твоими глазами! Надо лишь сообразить, что́ у тебя перед глазами. Но это самое трудное. В этом-то и весь фокус!

Открытие началось с Германии. Еще в конце двадцатых годов немецкие физики Генрих Боте и Ганс Беккер, облучая маломощными потоками альфа-частиц легкий химический элемент бериллий, обнаружили, что он испускает при бомбардировке какое-то странное излучение. Странность заключалась в том, что это излучение без труда проникало даже сквозь толстые свинцовые экраны.

Гамма-лучи, решили Боте и Беккер, но какие-то, что называется, очень жесткие. Гораздо жестче даже, чем гамма-лучи от радиоактивных препаратов. Новое излучение, таящее в себе загадку, так и получило название — «бериллиевое».

Затем настает очередь Франции. Молодые физики Фредерик и Ирен Жолио-Кюри в 1931 году повторяют опыты Боте и Беккера. Действительно, бериллиевое излучение проходит сквозь экраны в добрый десяток сантиметров свинца.

Молодежи свойственно ставить острые вопросы. Особенно этим молодым людям, которые являются прямыми наследниками таких прославленных искателей, как Пьер и Мари Кюри!

Острый вопрос в данном случае: как действует бериллиевое излучение на другие материалы, кроме свинца? Свинец — один из самых тяжелых материалов. Значит, надо подойти с другого конца — взять один из самых легких. Например, парафин: в нем только легкие атомы водорода и углерода. Или, например, целлофан. Долой свинцовые экраны — широкую дорогу излучению!

И оно щедро ответило на щедрость ученых. Из парафина и целлофана полетели… протоны! Такого еще не было! Гамма-лучи могли вышибать электроны из атомов, но протонов из ядер они пока что не вырывали.

Какое-то новое, необычное свойство гамма-лучей! Супруги Жолио-Кюри так и сообщили о результатах своих опытов 18 января 1932 года на заседании Парижской академии наук.

Вот когда настала очередь Чэдвика! Немедленно он бросился проверять их результаты. Все оказалось именно так, как сообщили французские исследователи. И тут все мысли, все неудачи, все безуспешные попытки за эти несколько лет — все

собралось словно в фокусе. Случилось именно так, как сказал Эйнштейн. На вопрос о том, как он открыл теорию относительности, он ответил: «Я просто долго думал об этом!»

Чэдвик тоже долго думал о «нейтральном протоне» Резерфорда. И, придя к тем же результатам, что и французы, быстро заключил: бериллиевое излучение — не гамма-лучи. Это поток нейтральных частиц с массой, близкой к массе протона.

Последнее вытекает хотя бы из того, что эти частицы свободно проходят сквозь толщу свинца. Они сталкиваются с ядрами свинца, но результат — как от столкновения легкого шара с тяжелым. Тяжелый шар практически не сдвинется, а легкий отлетит в сторону.

В парафине же другое дело: легкий шар сталкивается с легким. Как на зеленом поле бильярда, один шар может передать другому всю свою энергию или, по крайней мере, внушительную ее часть. Тогда налетающий шар остановится, а неподвижный — полетит. Этот последний и есть ядро водорода в парафине — протон.

Англия и Франция — соседи. Не дожидаясь опубликования своей статьи о нейтроне — так была названа новая частица, — Чэдвик шлет письмо супругам Жолио-Кюри. Следуют новые опыты.

Через неделю после открытия Чэдвика, 7 марта 1932 года Фредерик и Ирен Жолио-Кюри в сообщении Парижской академии наук подтверждают его выводы. И, наконец, 15 апреля 1932 года сообщение супругов Жолио-Кюри на заседании Французского физического общества окончательно оформляет гражданство новой частице атомного мира — нейтрону.

Открытие продолжается

Не каждый день — даже в такой бурной области, как ядерная физика, — случается такое открытие. Трудно описать ту лавину новых работ, которая ринулась вслед за открытием нейтрона. Десятки работ следовали друг за другом с калейдоскопической быстротой. Идеи, гипотезы, расчеты, новые опыты… «Бег на старте исследования!» — как называл Резерфорд суматоху в первые месяцы после важного открытия.

Лидерство в этом беге пока сохраняют супруги Жолио-Кюри. Они исследовали, как испускаются нейтроны, определили, чему равна их масса, какие виды расщепления атомных ядер

вызываются ими. Они попытались отыскать нейтроны даже в космических лучах.

Невероятный успех!

Нет… невероятный провал! Так могли бы сказать друг другу супруги Кюри, возвращаясь из Брюсселя в октябре 1933 года. На Сольвеевском конгрессе[1], на котором присутствовали виднейшие физики мира, сообщение молодых французских ученых встретило полное и сокрушительное непризнание…

Поразительно, но факт! Крупнейшее открытие двадцатого века — и в него отказались поверить даже такие сверхпроницательные физики, как творец атома Нильс Бор. Слишком смелым, слишком невероятным казалось то, что открыли Чэдвик и супруги Жолио-Кюри.

В чем же было дело? А в том — и это можно повторить еще не один раз, — физики, даже самые выдающиеся, те же люди. Им тоже нужно время, чтобы осмыслить, переварить что-либо далеко из ряда вон выходящее.

В такие минуты подвергается испытанию стойкость ученого. Выдержит ли он общее непризнание? Сумеет ли он вопреки всему продолжить свою работу, доказать свою правоту? Или же спасует, усомнится в правильности своего дела и, проклиная всех и вся, отбросит его прочь?

Молодые французы, уносясь в поезде Брюссель — Париж от места своего поражения, были сильно обескуражены. Но о том, чтобы прекратить начатую ими работу, не было сказано между ними ни одного слова.

Мысленно сжимая кулаки, они шептали: «Мы еще им покажем!» В их сердцах не погас огонь надежды.

И показали! Быстрее, чем можно было бы и подумать. Уже спустя три месяца, 15 января 1934 года супруги Жолио-Кюри представили во Французскую академию наук доклад об открытом ими новом поразительном явлении.

Имена Пьера и Мари Кюри история вписала золотыми буквами в свою книгу: они открыли и исследовали природную, естественную радиоактивность. Фредерик и Ирен Жолио-Кюри обессмертили свое имя открытием искусственной радиоактивности, вызванной облучением нейтронами…

Всемирное непризнание сменилось всемирной славой.

Нелегок был путь к ней. По возвращении из Брюсселя снова начались будни. Еще и еще раз надо проверить все сначала. И в первую очередь — сам источник нейтронов. Что ж, старый радиоактивный препарат исправно работает, выдавая альфа-лучи, которые затем образуют потоки нейтронов в бериллии. Сами альфа-лучи уже исследованы хорошо. Предстоит исследовать

другие излучения препарата — в первую очередь бета-лучи.

Это электроны: сие доказано уже за тридцать лет до того Резерфордом. Определим их энергии. Для этой цели хорош широко известный метод Скобельцына: камера Вильсона, помещенная в поле сильного магнита. Альфа-частицы, чтобы они не мешали, надо отфильтровать. Для этого между препаратом и камерой достаточно поместить тонкий листок алюминия, который полностью задержит альфа-частицы.

А теперь можно фотографировать. Искривление следов электронов в камере под действием магнитного ветра позволит точно замерить энергии электронов от препарата. Фотографии сделаны, можно их рассматривать.

Но что это? На фотографиях отчетливо видны электронные следы, искривленные в противоположные стороны.

Будь это за три года до описываемого времени, открытие супругов Жолио-Кюри могло не состояться… Можно благодарить Карла Андерсона: это он обнаружил, что закрученные в разные стороны пунктирные следы принадлежат электронам и позитронам.

Час от часу, однако, не легче. Электроны — они испускаются препаратом. Но откуда же в камере, тщательно защищенной от космических лучей, появились позитроны? В излучении препарата их не было, они появились только после его прохождения через алюминий.

И, наконец, самое поразительное: препарат давно уже убран в шкаф, а алюминий все продолжает испускать позитроны. Их появление отмечают и камера, и счетчик Гейгера, поднесенные к листку. Тонкий алюминиевый листок ведет себя как сам препарат: он тоже стал радиоактивным.

Радиоактивным? Чтобы предположить это, надо было обладать большой научной смелостью. Но именно этим качеством в полной мере были наделены Фредерик и Ирен Жолио-Кюри.

Да, радиоактивным! Влетая в ядро алюминия, альфа-частица застревала в нем. Ядро оказывалось переполненным частицами. И, чтобы сохранить свое существование, ядерная семья была вынуждена избавляться от лишних членов.

Первым ядро покидал нейтрон. Но это было уже не ядро алюминия. Два протона от альфа-частицы, добавившись к тринадцати протонам ядра алюминия, превратили его в ядро фосфора.

И вылет нейтрона здесь уже ничего не менял. Алюминий превратился в фосфор. Но ненадолго. Получившееся фосфорное ядро, уже спустя считанные минуты, само распадалось, выбрасывая позитрон и превращаясь при этом в ядро кремния.

Итак, алюминий превращался в фосфор. Но фосфор не обычный, а никому до тех пор не ведомый — радиоактивный. Шутка сказать! А проверить как-то надо.

Даже при сильном облучении алюминия альфа-частицами этого радиоактивного фосфора образовывалось одно ядро на миллиарды ядер алюминия. Да и к тому же ядра фосфора распадались очень быстро. Половина ядер фосфора терялась уже за три минуты.

Как быть? Как отделить миллиардные доли грамма фосфора от алюминия и провести химический анализ их за считанные минуты? Химики, к которым обратились Жолио-Кюри, только беспомощно разводили руками. Пришлось эту сверхтонкую и сверхбыструю работу проделать самим первооткрывателям.

Придуманный ими метод анализа оказался не только весьма остроумным, но и весьма долговечным. Он без особых изменений используется и поныне. Это метод «носителя».

В химическом отношении радиоактивный и обыкновенный фосфор ничем практически не отличаются. Но если к алюминию добавить обыкновенный фосфор, а затем выделить его, то фосфор уведет с собой и часть атомов радиоактивного фосфора. Отделить обычные от радиоактивных атомов, конечно, не удастся, да это и не нужно. Если к такой смеси поднести счетчик Гейгера, то он защелкает.

Если же в облученном веществе окажется радиоактивным не фосфор, а какой-то другой элемент, то сколько ни добавляй к веществу и ни выводи из него фосфор, он не поведет за собой ни одного радиоактивного атома.

Счетчик, поднесенный к смеси, которую выделили супруги Жолио-Кюри, защелкал. Это была победа, полная и ошеломляющая.

Через несколько дней после доклада в Париже супруги Жолио-Кюри получили письмо от Резерфорда. Великий ученый горячо поздравлял своих молодых последователей. Он писал: «Вы открыли то, что я искал в течение всей своей научной жизни!»

По следам нейтрона

Германия, Франция, Англия, снова Франция… Затем наступает очередь Италии.

Сенсационное сообщение супругов Жолио-Кюри с быстротой степного пожара облетает весь мир. В Советском Союзе,

Соединенных Штатах Америки, Англии, Италии возбужденные ученые бомбардируют ядра альфа-частицами, протонами, разогнанными до высоких скоростей в первых ускорителях, получают нейтроны и с ними новые радиоактивные элементы. Список этих элементов растет с устрашающей быстротой. К началу сороковых годов их насчитывается уже несколько сотен, и этому списку конца не видно…

Тем временем к исследованию искусственной радиоактивности приступил молодой итальянский физик Энрико Ферми. В таком захолустном, с точки зрения физики, городе, каким в начале тридцатых годов был Рим, это оказалось совсем не просто. В распоряжении Ферми не было ни радиоактивных источников, ни счетчиков и прочей электронной аппаратуры. Ни, наконец, даже достаточно чистых химических элементов, которые надо было облучать нейтронами.

Но в его распоряжении была умнейшая голова, которая уже успела доказать свои способности, и не меньшее по своей силе чутье экспериментатора, которому еще предстояло раскрыться в полной мере. И, может быть, Ферми никогда бы не занялся нейтронами, если бы не разочарование…

За год до описываемого времени Ферми разработал теорию, в которой пытался объяснить испускание бета-частиц радиоактивными ядрами. Вас не насторожило упоминание о том, что ядра фосфора испускают позитроны? Собственно говоря, следовало насторожиться ранее, когда зашла речь о том, что электронам квантовая механика запретила местожительство в ядрах. А между тем все радиоактивные ядра испускают электроны и позитроны.

Как же они испускают то, чего в них нет и не может быть? Над этими и другими удивительными вопросами долго ломал голову Ферми. И, независимо от него, уже известный нам швейцарец Паули. Обо всем этом нам предстоит еще особый разговор. Впоследствии замечательная теория Ферми блестяще подтвердится. А пока что широко известный английский журнал, куда Ферми послал свою статью, вернул ее обратно с вежливым ответом: «Материал не подходит для журнала».

И Ферми обратился от разочаровавшей его теоретической деятельности к подававшей надежды экспериментальной. Охоте за нейтронами предшествовала настоящая охота за нужным оборудованием. Ферми сам начал мастерить счетчики Гейгера, его друг и сотрудник Эмилио Сегре целыми днями мотался по Риму, обеспечивая «химическую базу» опытов. Ферми решил бомбардировать нейтронами подряд все 92 известных к тому времени химических элемента!

Наконец, маленькая группа, пополнившаяся еще тремя членами, могла приступить к опытам. Первым в списке был водород — и никакого эффекта! Сколько ни облучали водород, он не становился радиоактивным, не активировался, как говорят физики.

Затем пошли литий, бериллий, бор, углерод, азот. По-прежнему никакого результата. Кислород облучать нейтронами не имело смысла; то, что он не активируется, Ферми уже знал: первый опыт был проведен с водородом в воде. Группа начала уже было колебаться: не прекратить ли опыты? И только невероятное упорство Ферми заставляло продолжать их работать.

Это упорство было вознаграждено. Первый же за кислородом элемент фтор обнаружил сильную радиоактивность. Радиоактивными становились и следующие за фтором элементы. Теперь дело пошло быстрее.

Полученные радиоактивные атомы отделялись от основного вещества тем самым методом, который использовали супруги Жолио-Кюри. А после этого обычный химический анализ позволял определить, какому химическому элементу принадлежат выделенные атомы.

В общем, оказывалось, что заряд ядер при бомбардировке их нейтронами повышается на единицу и соответствующий химический элемент сдвигается на одну клеточку вправо в периодической системе элементов. Так дошли до урана. И сообщение, появившееся в итальянском научном журнале «Ричерка шентифика» («Научные исследования»), известило мир о том, что впервые получен химический элемент, не существующий в природе под номером 93.

Ферми описал это открытие с присущей ему осторожностью. Но, что ни говори, оно было сенсационным. Фашистское правительство Муссолини, весьма и весьма нуждавшееся в повышении своего пошатнувшегося престижа, конечно, немедленно ухватилось за это открытие. За границей пишут, что в Италии наука в годы режима Муссолини предана забвению. Так вот вам, пожалуйста, открытие Ферми, которое говорит о совершенно противоположном!

А зарубежные физики перенесли свое недоверие к тираническому режиму Муссолини на открытие Ферми, о котором звонила в колокола итальянская печать. Элемент 93 то открывался, то снова закрывался, пока, наконец, пять лет спустя, его существование не было окончательно подтверждено двумя крупнейшими немецкими учеными Луизой Майтнер и Отто Ганом.

Но за эти пять лет Ферми сделал еще одно открытие. Благодаря этому открытию он получил Нобелевскую премию, а человечество — атомную энергию.

Летом 1934 года к небольшой группе физиков, возглавляемой «папой» Ферми (это прозвище он получил в знак уважения перед всегдашней непогрешимостью его физических суждений), присоединился молодой человек, только что — в двадцать один год — окончивший Римский университет. Звали этого молодого человека Бруно Понтекорво.

Однажды осенним утром Понтекорво вместе с другим сотрудником группы — Эдоардо Амальди — проверяли на радиоактивность образцы из серебра. Эти образцы имели вид полых цилиндриков, чтобы радиоактивный препарат — источник нейтронов — можно было вносить внутрь их. Чтобы уменьшить облучение экспериментаторов, образцы помещали в свинцовый ящик.

Опыт шел по заведенному порядку, каким до него шли уже десятки опытов. Мирно пощелкивал счетчик, исследователи записывали его показания.

И вдруг Понтекорво заметил что-то необычное: активность цилиндриков менялась в зависимости от того, где они стояли — в середине или в углу ящика. Опыт был приостановлен, и молодые люди в полном недоумении направились к Ферми.

Тот заинтересовался, посоветовал вынуть образец из ящика и снова измерить его активность. Здесь можно лишний раз убедиться в дотошности настоящего ученого. Другой мог бы отмахнуться: мол, какие-то ошибки опыта, стоит ли обращать внимание.

И тут началось нечто невообразимое. Стрелка прибора, связанного со счетчиком, металась на шкале, совсем как магнитная стрелка возле железа. Стоило поставить образец на деревянную подставку — и стрелка летела в правый конец шкалы. Заменили деревянную подставку чугунной — стрелка еле-еле отклонилась.

Тогда стали ставить разные вещества между препаратом и образцом. Свинец немного увеличивал активность серебра. Давайте попробуем что-нибудь полегче, предложил Ферми и, памятуя об известном опыте супругов Жолио-Кюри, добавил, — скажем, парафин. Это было 22 октября 1934 года.

Взяли кусок парафина, выдолбили в нем ямку и в нее поместили источник нейтронов. Облученный серебряный

цилиндрик поднесли к счетчику Гейгера, — и возгласы изумления заполнили тихую лабораторию. Парафин увеличил активность серебра в добрую сотню раз!

В полдень физики неохотно разошлись на перерыв, который объявил Ферми. «Пошли завтракать!» — эту знаменитую фразу Ферми повторит в декабре 1942 года перед тем, как пустить в ход созданный его головой и руками первый в истории атомный реактор. Эта фраза — символ величайшего хладнокровия и вместе с тем верное средство сосредоточить все умственные и душевные силы перед серьезным испытанием.

И когда физики в то осеннее утро вернулись с завтрака, в голове Ферми уже была разрешена загадка странного действия парафина на нейтроны. Бильярд!

Нейтроны, сталкиваясь с протонами, не только выбивают их из парафина. Сами нейтроны при этом постепенно растрачивают свою энергию, замедляются. Так вел бы себя помеченный бильярдный шар, пущенный в толпу таких же шаров. В результате из парафина выходят медленные нейтроны.

А вероятность того, что такие нейтроны будут захвачены ядрами серебра, должна быть гораздо выше, чем та же вероятность для быстрых нейтронов. В самом деле, легче вскочить в медленно идущий поезд, чем в несущийся с курьерской скоростью. Или, продолжая наше сравнение с бильярдом, только на этот раз с детским: чем медленнее движется шар, тем легче он провалится в лунку. Этой лункой служит ядро серебра.

Но если все это так, как рассказал Ферми, то, значит, любое вещество, содержащее много легких атомов, будет действовать подобно парафину. Например, вода.

И наши энтузиасты отправляются к большому фонтану с золотыми рыбками позади здания лаборатории. Спустя несколько минут захлебывающийся треск счетчика Гейгера показывает им, что вода действительно во много раз увеличивает радиоактивность серебряных цилиндриков. Мысль Ферми подтвердилась.

93-й элемент, замедление нейтронов… Два гигантских шага на порог атомного века. И все-таки, выступая в Стокгольме в конце 1938 года по поводу вручения ему Нобелевской премии, Ферми далек от мысли, что этот порог близок, невероятно близок.

Ферми, без сомнения, знает о словах знаменитого французского физика Поля Ланжевена, сказанных им вскоре после открытия нейтрона и искусственной радиоактивности. «Исследование этой области начинается, оно таит в себе немало сюрпризов и колоссальные возможности в виде использования

огромных ресурсов внутриядерной энергии, высвобождаемой в результате ядерной реакции. Прометей, который бы научил людей, как зажечь этот молниеносный костер ядерных реакций, еще не появился, и это, возможно, к лучшему!»

Он ошибался, Поль Ланжевен. Вот Прометей, он стоит на трибуне концертного зала в Стокгольме и после церемонии вручения ему Нобелевской премии читает лекцию. Читает внешне сухо, бесстрастно, хотя переполнен понятным волнением. И ему даже в голову не приходит, что спустя месяц в Германии и здесь, в Стокгольме, четыре человека сделают последний, завершающий шаг на порог атомного века.

Последний шаг

Да, физика быстро идет к эпохальному открытию. А мир столь же быстро идет к войне. Собственно говоря, она уже началась! Гитлер вторгся в Австрию, ждет своей участи Чехословакия, выданная западными «союзниками» Гитлеру. Осталось совсем немного времени — и застонут земли Польши, Франции, Югославии под тяжелым гулом немецких танковых армад.

И, может быть, поэтому неспроста физики повторяют как заклинание: «Прометей еще не появился, и это к лучшему!» Они понимают, что может натворить чудовищная энергия, запрятанная в атомных ядрах, если она попадет в руки воинственных варваров. Нет, быть не может, это возможно только в далеком будущем, если вообще возможно! — чуть ли не с мольбой повторяют друг за другом крупнейшие физики мира.

Но остановить развитие науки, даже если кажется, что она идет во вред человечеству, — этого еще никому не удавалось. Опыты Ферми с облучением ядер урана нейтронами спустя несколько лет были продолжены во Франции и в Германии.

В 1938 году Ирен Жолио-Кюри вместе с ее учеником-югославом Павле Савичем, пытаясь установить химические свойства 93-го элемента… не нашли этого элемента. Вместо него в уране, облученном нейтронами, оказался почему-то лантан, 57-й элемент периодической системы. Это было невероятно, хотя все новые химические анализы подтверждали присутствие лантана. Французские исследователи долго ломали голову над загадочным явлением лантана, но так и не смогли решить загадку.

Фредерик Жолио-Кюри в 1938 году поехал в Рим на конгресс

итальянского химического объединения и, познакомившись там с крупным немецким химиком Отто Ганом, рассказал ему о работах своей жены и Савича.

Ган не поверил, но Жолио-Кюри убедил его повторить опыты, проведенные в Париже. Ган вернулся в Берлин. До недавнего времени в течение почти тридцати лет он работал вместе с замечательной женщиной-физиком Луизой Майтнер и химиком Фридрихом Штрассманом.

Теперь они остались вдвоем. Луиза Майтнер была еврейкой. Немецкие антисемитские законы в первые годы после прихода Гитлера к власти не коснулись ее только потому, что она имела австрийское подданство. Когда Австрия пала, Майтнер, ученая с мировым именем, вынуждена была, как за несколько лет до этого Эйнштейн, бежать из Германии.

На некоторое время она обосновалась в Стокгольме. Туда и заехал к ней работавший у Нильса Бора в Копенгагене ее племянник, известный физик Отто Фриш. И как раз в эти дни Майтнер получила письмо от своих берлинских друзей. Ган и Штрассман с поистине немецкой скрупулезностью повторили опыты Ирен Жолио-Кюри и Савича и вне всякого сомнения обнаружили лантан. И не только лантан: в продуктах радиоактивного распада урана оказался и 56-й элемент — барий.

Майтнер первая догадалась, в чем дело. Ядро урана, вместо того чтобы избавиться от неустойчивости, выбрасывая несколько лишних частиц, как «делали» до него все ядра и оно само при естественной радиоактивности, на сей раз разделилось на крупные осколки. Этими осколками и были ядра лантана и бария!

Фриш срочно вернулся в Копенгаген, чтобы проверить догадку опытом. Майтнер не имела возможности экспериментировать, она вела лишь расчеты.

Фриш немедленно поставил в известность об открытии своего учителя Нильса Бора. В середине февраля 1939 года Бор поехал в США и рассказал об открытии деления урана на лекции в Принстонском университете. В тот же день об этом узнал Ферми. После вручения ему Нобелевской премии Ферми решил не возвращаться в фашистскую Италию и переехал в США.

Майтнер и Фриш тем временем направили в английский журнал «Нэйчур» («Природа») письмо о своем открытии. Их заметка появилась в журнале 18 февраля 1939 года. Но уже 30 января 1939 года Фредерик Жолио-Кюри представил в «Труды Парижской академии наук» статью, под названием «Взрывное расщепление ядер урана и тория под действием нейтронов».

В ней он смог экспериментально доказать деление ядер урана. А еще через три недели он же первый увидел

замечательную реакцию. На девятьсот второй фотографии, снятой в камере Вильсона, наполненной газообразным соединением урана, четко вырисовался след нового ядра, возникшего при делении ядра урана.

Широкие исследования нового явления начались и в Советском Союзе. В Ленинграде, в Радиевом институте, ими руководил крупнейший ученый Виталий Григорьевич Хлопин. Замечательный теоретик Яков Ильич Френкель разработал первую теорию деления атомных ядер. А еще спустя несколько месяцев молодые советские физики Георгий Николаевич Флеров и Константин Антонович Петржак, руководствуясь работами Френкеля, достигли нового успеха. Они открыли, что ядра урана могут делиться на крупные части даже без бомбардировки нейтронами — сами по себе, настолько они неустойчивы.

Конечно, не надо понимать эту неустойчивость как поголовный распад всех урановых ядер за короткое время. Вероятность такого самопроизвольного деления уранового ядра — величина совершенно ничтожная. Но даже в небольшом кусочке урана ядер столь много, что каждый час несколько из них разваливается на осколки.

Огромной выдумки и терпения потребовал этот неимоверно чувствительный опыт. Чтобы оградить его от космических частиц, которые тоже могли бы вызвать такое деление, Флеров и Петржак ушли под землю. В тихие ночные часы, когда московский метрополитен кончал свою работу, в самом глубоком туннеле включали ученые свою сложную аппаратуру.

Проходили день за днем, неделя за неделей. И, наконец, сомнений больше не осталось. Тяжелое урановое ядро, до предела нагруженное протонами и нейтронами, может — пусть и очень редко — само по себе разваливаться на куски.

Следующее важнейшее открытие: при развале каждого ядра урана появляется несколько свободных нейтронов. Часть из них покидает кусок урана, уходит в воздух, но часть остается блуждать в куске. В уране всегда есть свободные нейтроны. И если увеличивать массу и размеры этого куска, то в конце концов наступит такой критический момент, когда число рождающихся в куске нейтронов превысит число ускользающих из него. Не нужна никакая бомбардировка урана нейтронами извне! Их поставляет сам же уран. А когда его размеры и масса приближаются к критическим, уран становится взрывоопасным. В нем должна начаться цепная реакция деления. И незадолго перед войной первый расчет такой реакции выполняют советские ученые, ныне академики, Яков Борисович Зельдович и Юлий Борисович Харитон.

Началась не виданная еще в науке лихорадочная гонка. В нее включились большие научные коллективы и огромные промышленные предприятия. Первый этап этой гонки выиграла группа Ферми. 2 декабря 1942 года под сводами заброшенного стадиона в Чикаго эти люди пустили в ход первое в истории человечества искусственное ядерное солнце.

Здесь нет нужды описывать первые годы атомного века. Они и без того хорошо известны. Нейтрон вошел в жизнь человечества, окруженный «ореолом» чудовищных взрывов американских атомных бомб над Хиросимой и Нагасаки, в еще более чудовищных огненных смерчах испытаний водородных бомб.

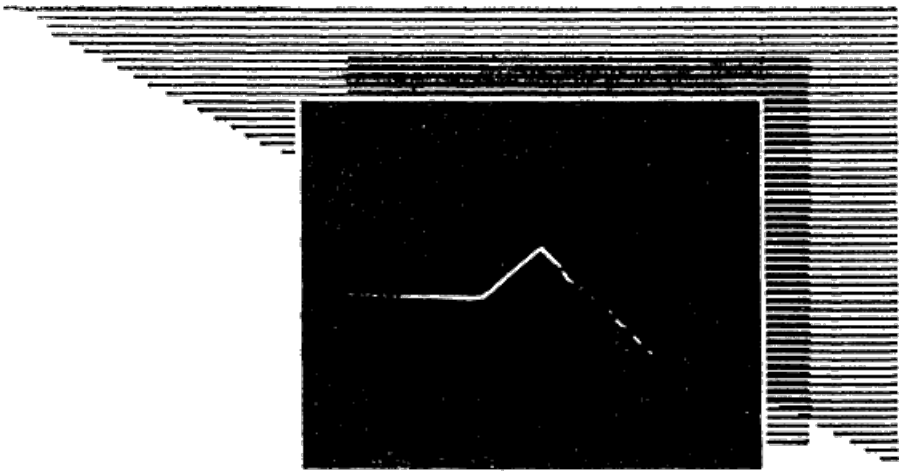
Но в те же годы над потрясенным миром зажглась и заря надежды. В Советском Союзе большая группа ученых под руководством Игоря Васильевича Курчатова ввела в строй первую в мире атомную электростанцию. Начал взламывать тяжелые льды Арктики атомоход «Ленин».

Нейтрон включился в работу на благо мира. Эта работа колоссальна. Нейтрон — самая «работящая» частица атомного мира после электрона и фотона. Он дробит ядра в топках атомных электростанций и атомных двигателей. Он создает искусственные радиоактивные элементы, которые нашли широчайшее применение в науке и технике сегодняшнего дня — от обнаружения дефектов в изделиях рук человеческих до излечения дефектов самого тела человека. Он исследует недра земные, ищет нефть и другие ценнейшие ископаемые.

И, заканчивая первую часть нашей повести о самой драматической частице в истории физики, можно сказать: большая жизнь нейтрона — впереди!

А теперь вторая часть истории нейтрона. Для естествознания она ничуть не менее важна, чем первая.

Глава 6
Возвращение в космос



Смена караула

Нейтрон… На него набросились не только одни экспериментаторы. Его появление отпраздновали и теоретики. Отпраздновали своеобразно — тут же заставили его работать в поте лица своего.

То, что нейтрон явился на свет свободным, их не смутило. Отныне нейтрону предстояло выполнить самую тяжкую и самую благородную работу на свете: предохранять ядерные семьи от развала на отдельные протоны.

Так… Смена караула в ядрах. Действительно, самая благородная задача. Если бы чудом образовавшиеся ядра тут же разваливались на отдельные кирпичи, в мире не могло бы существовать ни единого вещественного предмета. Он представлял бы собою скопище проносящихся друг мимо друга протонов и электронов, в лучшем случае — атомов водорода. Единственной твердью в таком мире мог бы быть один лишь твердый водород при температуре, недалекой от абсолютного нуля. Да, неуютная картина мироздания!

Природа, однако, оказалась щедрее на выдумку. Она создала великое разнообразие ядер — от водорода до урана и даже

включила в него сверхтяжелые зауарановые элементы. И все это разнообразие должно быть обязано нейтрону.

Так заявили в том же году, когда был открыт нейтрон, один из создателей квантовой механики Вернер Гейзенберг и молодые советские ученые Игорь Евгеньевич Тамм и Дмитрий Дмитриевич Иваненко. Заявление это было чрезвычайно смелым. Ведь с самого начала было ясно, что нейтрон — электрически незаряженная частица, что взаимодействовать с заряженным протоном электрическими силами она не имеет возможности.

Но роль стража, безразличного к тому, как протоны разлетаются в разные стороны, вовсе не предназначалась нейтрону. Нейтрон и протон взаимодействуют, но не электрическими, а какими-то иными, покуда неизвестными силами, предположили создатели новой модели атомного ядра.

Пока теоретики ломают головы над природой загадочных сил, действующих в атомных ядрах, прежде всего делаются оценки величины этих сил. Из изучения столкновений протонов с нейтронами, хотя бы в том же парафине, довольно точно удается оценить массу нейтрона. Нет, она не равна массе протона, как это полагал Резерфорд, а больше ее. Правда, на совсем небольшую величину — всего лишь примерно на одну тысячную.

Теперь можно заняться постройкой ядер. И здесь неоценимую услугу физикам оказывают изотопы, существование которых было обнаружено за двадцать лет до этого первооткрывателем электрона Джи-Джи Томсоном. Так смыкаются научные поколения, так метод, послуживший некогда открытию электрона, теперь позволяет проникнуть в секреты строения ядра.

Дело в том — и это было уже давно подмечено, — атомные веса химических элементов не совпадают с числом протонов в их ядрах. Ни в старой модели ядра, считавшей его состоящим из протонов и электронов, ни в новой, строящей ядра из протонов и нейтронов.

Что же, в этом могут быть повинны изотопы — так первое время думают физики. Скажем, более тяжелого изотопа в той их смеси, с которой имели дело химики, определявшие атомные веса, — этого изотопа побольше, а более легких поменьше. Вот получается дробное число, заметно отличающееся от ближайшего к нему целого. В этом же может заключаться разгадка и того факта, что у каждого элемента отличие дроби от целого разное.

Достаточно посмотреть хотя бы на ядро гелия. Атомный вес его — 4,003 — очень близок к целому числу 4. Значит, гелиевое ядро построено из четырех частиц. Нам оно уже встречалось не раз — это не что иное, как сама альфа-частица. Заряд ее тоже известен — два положительных заряда, каждый из которых по

абсолютной величине равен заряду электрона. Значит, в ядре гелия живут два протона, а остальные места занимают два нейтрона.

Атомный вес протона — 1,008, нейтрона — 1,009. Что ж, сложим эти веса и умножим на два — 4,034. «Хвостик» при четверке в добрый десяток раз больше, чем в действительности! В чем же дело?

У гелия есть легкий изотоп, состоящий из двух протонов и одного нейтрона. Но, во-первых, в любой природной смеси этих изотопов более легкий всегда содержится в ничтожной доле, а во-вторых, он не спасает положения: его атомный вес тоже оказывается больше действительного.

Да, ядерные здания построены иначе, чем созданные руками человека. Вес нормального здания равен весу кирпичей да еще весу цемента. Вес же ядерных зданий меньше веса всех его кирпичей! Лет за тридцать до описываемых времен физики могли бы лишь недоуменно развести руками.

Теперь же решение приходит быстро. Еще Эйнштейн показал, что часть массы всех тел может переходить в форму энергии их движения. Затрачивая на что-нибудь свою энергию, тело «худеет». На что же могли затратить часть своей массы протоны и нейтроны в ядрах?

Да на взаимную связь! Удержать протоны друг возле друга, усмирить их бешеную ненависть — на это требуется энергия, и, видимо, немалая.

Впрочем, ее уже можно без особого труда подсчитать: она равна разности мыслимого и реального «хвостиков» при четверке, переведенной из шкалы масс в шкалу энергий. Это составляет ни много ни мало около трех миллионов электрон-вольт. А в ядрах, состоящих из десятков протонов и нейтронов, эта энергия доходит даже до семи-восьми миллионов электрон-вольт в расчете на одну ядерную частицу.

Ого! Энергия связи протона с электроном в атоме, например, водорода — всего лишь около 14 электрон-вольт. Теперь понятно, почему ядра — столь крепкие орешки, почему их не берут даже самые сильные внешние воздействия. Просто эти воздействия слишком слабы. Их энергия в тысячи раз меньше той, что сплачивает ядерные частицы в поразительно прочные коллективы.

Да, нейтрон по праву сменил своего предшественника — электрона — в ядре. Он действительно замечательный страж спокойствия в ядрах. Но как это ему удается? Вот тот вопрос, который мучает физиков первые три года после открытия нейтрона.

Видимо, между нейтроном и протоном существует обменное взаимодействие, — такое предположение высказывают Вернер Гейзенберг и Игорь Тамм.

Атомный волейбол

Электрон «кружится» вокруг протона в атоме водорода. Земля кружится вокруг Солнца. Это простейшие примеры сил притяжения, действующих на расстоянии. Но, оказывается, есть еще один род сил, действующих на расстоянии, и открыла его квантовая механика.

Две команды играют в волейбол. Они не уйдут с поля, пока мяч в игре. Какая сила связывает их? Вы скажете — правила игры. Вот эти-то «правила игры» и подметила квантовая механика, но в атомном мире.

Все началось с обыкновенной молекулы водорода. А вопрос, в сущности, не очень обыкновенный: что заставляет два в целом электрически нейтральных атома притянуться друг к другу и создать довольно прочную молекулу? Раз атомы нейтральны, то, понятно, обычные электрические силы притяжения между ними не действуют.

Теоретики произвели расчеты и выяснили, как меняется вид электронных облаков в каждом из атомов водорода при их сближении. Выявилась удивительная картина. По мере сближения атомов электронное облако каждого из них все сильнее вытягивалось в направлении к ядру «чужого» атома, пока, наконец, не охватило полностью «чужое» ядро. Правда, облака электронов были возле «чужих» ядер более прозрачными, чем возле «своих». Но это уже не меняло сущности дела: «свой» электрон какое-то время должен был пребывать около «чужого» ядра.

Так возник атомный волейбол: ядро, подержав у себя в руках «свой» электрон, бросало его партнеру. Похоже на игру двух спортсменов двумя мячами. И уже нельзя сказать, где «свой» и где «чужой» электрон: электроны ведь схожи друг с другом, как близнецы!

Стороннему наблюдателю такой волейбол показался бы на редкость скучным зрелищем: два совершенно одинаковых игрока перебрасываются двумя совершенно одинаковыми мячами. Физики же получили от такого зрелища живейшее удовольствие: еще бы, разгадана одна из самых простых на вид, но столь тонких

и трудных загадок природы!

Значение этого успеха оказалось куда большим, чем можно было ожидать. Пользуясь представлением об «игре в мяч», физики смогли подобрать ключ к решению такой важнейшей и труднейшей проблемы, как электрическое взаимодействие тел.

Подход старой физики к этому вопросу вам отлично известен. Он начинается со знаменитой фразы из учебника: «Одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные — притягиваются». Что ж, это факт, твердо установленный на опыте.

Но почему разноименно заряженные тела чувствуют такое неодолимое влечение друг к другу? Старая физика любезно поясняет: вокруг заряженного тела существует электрическое поле, которое действует с определенной силой на все другие заряженные тела, попавшие в это поле.

А что такое тогда поле? Тело, что выделяет его? Или все это надо представлять себе иначе?

Старая физика умолкает. Она никак себе не представляет поле. Поле есть поле — и баста!

Вопрос перекладывается на плечи квантовой механики. Она лучше вооружена для его решения. В ее арсенале — кванты электромагнитной энергии — фотоны Эйнштейна и замечательные соотношения неопределенностей Гейзенберга. И, наконец, на ее вооружение поступает то, о чем мы только что рассказали, — обменное взаимодействие.

Теперь можно начинать игру. Ее правила: все электрически заряженные тела обмениваются фотонами, которые они как бы извлекают из себя. Но осторожнее, на вышке сидит зоркий наблюдатель — старая физика. Однажды она уже пыталась подловить квантовую механику на просачивании частиц сквозь барьеры. Так и сейчас: ничего нельзя делать незаконно с ее точки зрения.

Чтобы извлечь из себя фотон и бросить его партнеру, нужно затратить энергию, которой ни у одного из партнеров нет. Это явное беззаконие. Но если такое преступление проделать очень быстро, то старая подслеповатая физика может и не заметить. Ну, раз-два! Плохо, медленно, так дело не пойдет.

Помните? Если измерять энергию одно мгновение, то измерение даст совершенно неопределенный результат. Тогда под покровом этой полнейшей неопределенности можно обмениваться мячами-фотонами хоть с любой энергией. Но фотон-то летит не мгновение. Скорость его хоть и очень велика, но все же не бесконечна. А значит, и расстояние между партнерами он пролетает за какое-то время. И чем больше это

время, тем меньше допустимая «кража» энергии.

В этом-то все дело! Значит, энергия фотона, то есть энергия, которую каждый из партнеров украл незаконно у самого себя, должна быть тем меньше, чем дальше отстоят обменивающиеся протонами партнеры, и наоборот. А чем меньше эта энергия, тем, понятно, слабее взаимодействуют партнеры. Вот вам и закон Кулона! Тот самый школьный закон о том, что сила притяжения или отталкивания заряженных тел обратно пропорциональна расстоянию между ними.

И если игра в мяч будет идти корректно, с соблюдением квантовых правил игры, то старая физика ни за что не заметит нарушения своих законов. Физики назвали такие процессы взаимодействия, в которых «незримо» нарушаются законы классической физики, процессами виртуальными. Запомните это слово: оно нам не раз встретится в дальнейшем.

Игра в мяч переносится в ядро

Как мы уже сказали, этот волейбол Гейзенберг и предложил устроить в атомных ядрах. Новые игроки, новая площадка — и, видимо, совершенно другие мячи…

Фотоны здесь не подходят — нейтрон электрически не заряжен. И, кроме того, еще одно существенное отличие: мячи никогда не залетают за крошечную площадку. На редкость аккуратная игра.

Фотоны — те при малой энергии могли удаляться довольно далеко от бросивших их партнеров. Ведь чем меньше энергия фотонов, тем меньше «преступление», тем дольше оно может оставаться нераскрытым. А значит, тем большее пространство покроет фотон. На языке физики это звучит так: радиус действия электрического поля бесконечен!

Не то в ядре. Мячи сами никогда не залетают за пределы ядерной площадки. Это говорит о том, что их энергия имеет предел своему уменьшению.

А раз так, то мячами должны быть вещественные частицы!

На этом заключении надо немного остановиться. Нам опять понадобится известное соотношение Эйнштейна между массой и энергией.

Дело в том, что фотон, в отличие от всех вещественных частиц, никогда не может находиться в покое. Природа устроила его так, что он может лишь носиться со скоростью света. Но

энергию при этом он может иметь какую угодно — это зависит лишь от его частоты. Пределов ей ни вверх, ни вниз нет. Потому мы наблюдаем и «нежные» кванты длинных радиоволн, и «зверские» кванты гамма-лучей.

А вот вещественные частицы пребывать в покое могут. В покое они имеют определенную массу и связанную с нею по соотношению Эйнштейна энергию покоя. Это — самая маленькая энергия для них. «Законным» путем сделать из нее хотя бы крошечный заем на свои нужды частицы не могут. В этом-то и причина, почему такой заем, разрешенный квантовой механикой, правда с соблюдением определенных правил, старая физика считает беззаконием.

Отсюда и ясно, что свою энергию вещественные частицы должны отсчитывать не от нуля, как вечный бродяга — фотон, а от энергии покоя. Меньшей энергии, строго говоря, частицы вещества иметь не могут.

А с другой стороны, эта наименьшая энергия и определяет то наибольшее расстояние между партнерами, которое может быть при игре вещественным мячом. И наоборот, по размерам площадки можно судить о массе мяча!

Размеры площадки уже известны, по крайней мере, по порядку величины — это примерные размеры ядра. Остается определить массу мяча. Это и делает, после ряда безуспешных попыток, предпринятых учеными разных стран, японский физик Хидеки Юкава в 1935 году.

Да, мяч оказывается весьма массивным! Он в добрых двести — триста раз массивнее электрона и всего лишь в шесть — девять раз легче самих игроков. Руки отмахаешь, играя в такой волейбол!

Новую частицу, запрятанную в недрах атомного ядра, предполагается назвать мезотроном. По-гречески «мезос» означает «средний», и действительно, новая частица располагается по массе где-то посредине между протоном и электроном.

Теперь можно понаблюдать за игрой. Она уже гораздо более занятна, чем игра двух атомов водорода в их молекуле.

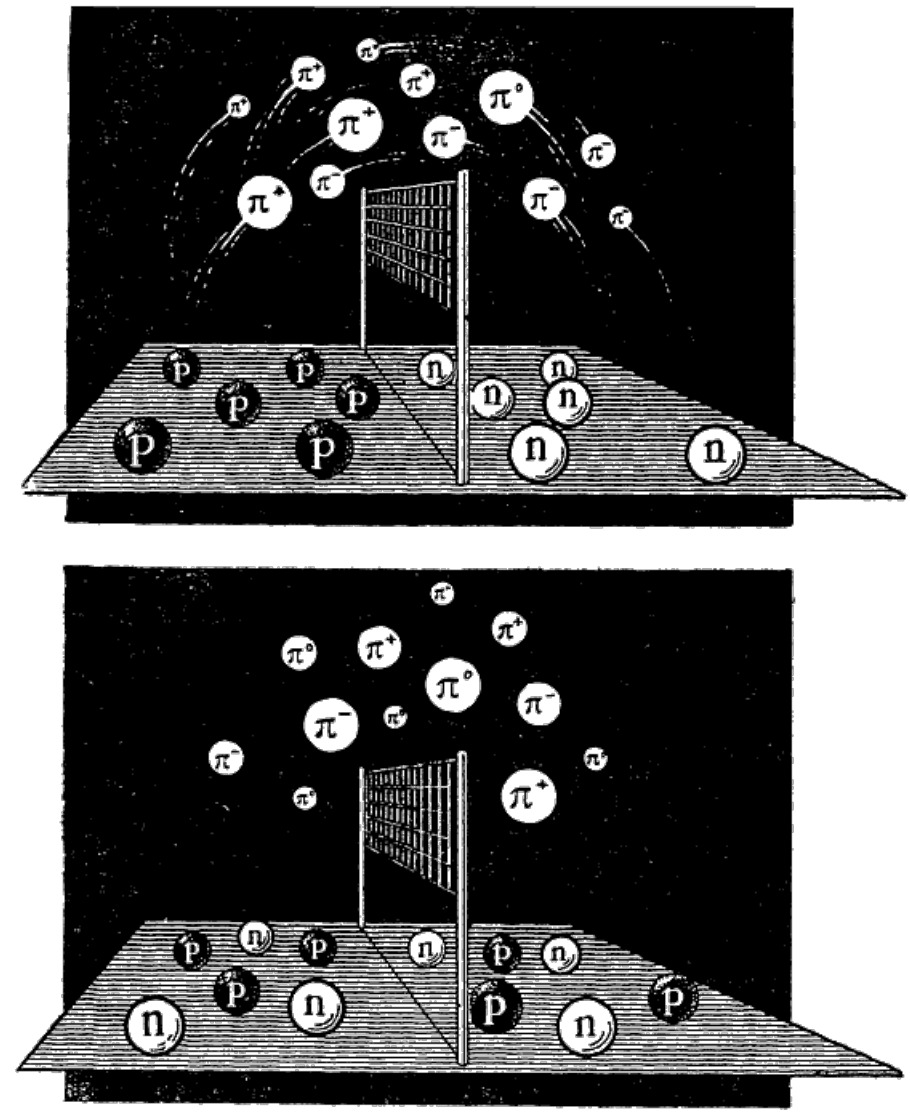
Вот протон бросил положительно заряженный мезотрон. Мяч в игре! Но смотрите не на мяч, ищите игрока. Он исчез!

Да, протон, бросив мяч, избавился с ним от своего заряда и превратился в нейтрон. На ничтожную долю секунды в стане протонов появился чужой игрок. Но проходит эта доля секунды, нейтрон хватает мяч и сам превращается в протон. Теперь и в другой команде чужой игрок.

А если вы учтете, что каждая пара игроков обменивается

мячом, да еще подхватывает «чужие» мячи и посылает свои в «чужие» пары, словно это не серьезная игра, а легкая тренировка, то поймете, как трудно подслеповатой старой физике уследить за всем этим. Она уже готова не обращать внимания на игроков, ей, дай бог, хотя бы поймать взглядом мяч!

Но и этого ей не удается. Мяч находится в воздухе каждый раз действительно сверхничтожно малое время — чуть поболее триллион-триллионной доли секунды! Чтобы представить себе столь ничтожную величину, не помогут никакие сравнения! Старая физика вообще никогда не увидит ни одного мяча в ядре — в нем они все виртуальные.



Так, вероятно, выглядела бы «мгновенная фотография» команд частиц, играющих в волейбол в атомных ядрах. Впрочем, вы бы не отличили ее от фотографии, сделанной мгновение спустя: протоны превратились бы в нейтроны, а нейтроны — в протоны. Так как все игроки одной команды идеально похожи друг на друга, то никакую перестановку их заметить не удалось бы.

Физики же, исповедующие квантовую веру, пригляделись к ядерному волейболу и увидели там второй сорт мячей. Увидели так отчетливо, как если бы мячи одного сорта были выкрашены черной, а другого — белой краской!

Они увидели, что нейтроны не только принимают мячи от протонов, чтобы тут же вернуть их обратно, — но и что нейтроны сами испускают мячи, которые тут же забирают протоны. Этими мячами были такие же, но отрицательно заряженные мезотроны!

Нейтральный электрический нейтрон, бросив протону отрицательный мезотрон, становился протоном. Протон, приняв этот мезотрон, уничтожал свой электрический заряд и превращался в нейтрон.

Так веки вечные играют в мяч частицы в ядре, не имея сил разойтись в разные стороны. Играют неутомимо, с фантастической скоростью швыряя мячи друг другу и превращаясь при этом друг в друга.

Какую голову надо было иметь, чтобы в ней могло родиться подобное представление! И какую скромность: «так как частица с такой большой массой никогда не наблюдалась, вышеизложенная теория, кажется, находится на ложном пути». Этими словами заключил Юкава свое сообщение. Теперь слово за экспериментаторами. Они ставят себе задание: искать мезотроны.

«Подкидыш» природы

Теоретики вручают экспериментаторам словесный портрет разыскиваемой частицы. Масса раз в двести — триста больше, чем у электрона. Заряд либо положительный, либо отрицательный. Предполагаемое местожительство — атомные ядра. А посему при встрече с ядром взаимодействие частицы и ядра должно быть сильнейшим.

Понятно, однако, что если эта частица выполняет в ядре

столь важную и столь скрытную работу, то в обычной обстановке она предпочитает не показываться на глаза ученым. В ядрах искать ее, конечно, нечего. Большим «слоноподобным» приборам нет смысла лезть в ядерный «муравейник». Остается обратить взоры к заповеднику всяких частиц — космическим лучам. Они уже подарили физикам позитрон. Можно надеяться, что этим дело не кончится.

Сколько раз в истории изучения частиц бывало, что они наблюдались уже не один год, а экспериментаторы проходили мимо них. Так продолжалось до тех пор, пока теоретики не обращали внимание исследователей на то, что в толпу известных частиц могли затесаться и частицы еще неизвестные. Теоретики, более того, давали портреты этих частиц, после чего их поимка становилась делом хотя и трудным, но уже более целенаправленным.

Так случилось и с мезотронами. Уже много лет на снимках космических частиц, сделанных в камерах Вильсона, наблюдались следы, принадлежащие, как думали физики, каким-то сверхэнергичным электронам. Сильные магнитные поля, без труда сворачивающие с прямой дорожки даже очень быстрые электроны на эти сверхэнергичные частицы почти не действовали.

Тогда попробовали их замедлить, помещая на пути этих частиц в камере свинцовые перегородки. Почти никакого результата. Эти частицы проникали в толщу земли, их удавалось обнаружить даже в шахтных выработках под земной поверхностью. И от частиц другой группы они странным образом отличались тем, что не создавали никаких ливней в свинцовых пластинках. Помните гроздья следов, свисающие со свинцовых переборок камеры Вильсона? «Жесткая компонента» — так назвали их физики, чтобы подчеркнуть удивительную проникающую способность этих частиц.

Что ж, видимо, в самом деле в космических лучах существуют какие-то сверхэнергичные электроны, хотя трудно понять, где они набрали такую энергию.

Гипотеза Юкава одним ударом разрешила эти затруднения. Не сверхэнергичные электроны, а мезотроны с энергией, довольно заурядной для космических частиц! Неудивительно, что следы мезотронов можно было приписать электронам: ведь обе частицы отличаются только массами!

Только ли? — усомнились некоторые исследователи. А вид взаимодействия с ядрами? Электрон должен взаимодействовать с ядром сравнительно слабо: электрические силы в сотни тысяч раз слабее тех, что действуют в ядрах. Мезотрон же, напротив,

должен взаимодействовать с ядрами энергичнейшим образом: он ведь их порождение!

Да? А почему этого никогда не видно на снимках? Почему, наконец, мезотроны так сильно проникают сквозь вещество? Если бы их взаимодействие с ядрами было сильным, они бы растеряли свою энергию в сотни и тысячи раз быстрее.

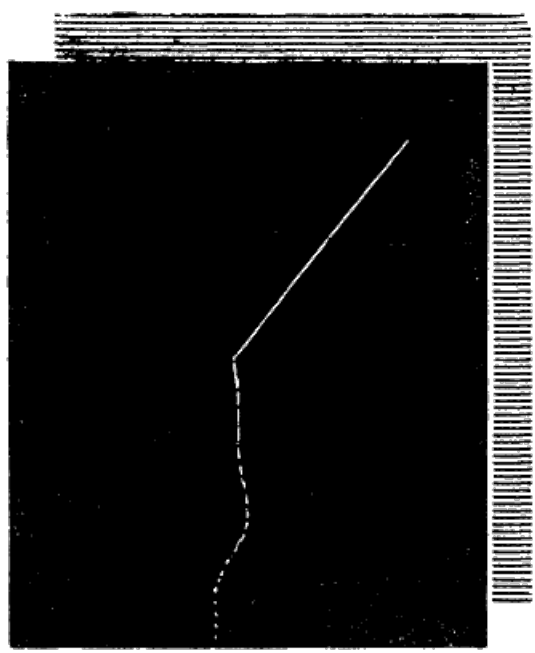
Полно, в самом ли деле это предсказанные Юкавой мезотроны?

Но сомневающиеся вынуждены умолкнуть один за другим. Тщательное изучение следов новых частиц в камерах Вильсона позволяет измерить их массу. Она оказывается по этим первым, еще не очень совершенным измерениям что-то примерно в двести раз больше массы электрона.

Итак, первое предсказание сбывается. Тем временем Юкава делает еще одно важное предсказание: мезотрон в свободном состоянии должен оказаться неустойчивым. Спустя ничтожное время — Юкава на основании расчета полагает, что речь может идти лишь о миллионных долях секунды, — мезотрон должен распасться на другие частицы.

Одной из этих частиц будет электрон.

Проходит несколько месяцев, и уже знакомые нам Андерсон и Неддермайер, получившие когда-то первый «настоящий» снимок родившегося позитрона, в той же камере Вильсона добывают замечательную фотографию «скончавшегося» мезотрона. Да, он в самом деле распадается!



Фотография распада мю-мезона. Сравнительно толстый мезонный след ломается в точке распада и превращается в электронный пунктир.

Бежал, бежал след мезотрона и вдруг сломался. А от места облома побежал другой, более тонкий след, явно принадлежащий уже электрону. Подсчитали, сколько мог жить мезотрон до своей кончины, если даже он прилетел от самой границы земной атмосферы. Оказалось — те же миллионные доли секунды.

Так сбылось и второе предсказание Юкавы: мезотрон, вне всякого сомнения!

Но сомнения не исчезли. Почему частица, как две капли воды похожая на ту, что предсказал Юкава, все же не выполняет самого важного его предсказания? Почему она взаимодействует с ядрами ничуть не сильнее, чем электрон?

Нет, это не тот мезотрон! Так вынуждены были признать в конце концов физики.

Этот мезотрон — подкидыш природы. Надо искать «настоящий» мезотрон.

На сей раз природа шла навстречу физикам куда менее охотно. Уже давно была разработана первая теория ядерных сил, в которой фигурировал «настоящий» мезотрон, уже давно на основе этой теории заработал атомный реактор и были созданы грозные атомные бомбы. А нужная частица все не появлялась в поле зрения физиков.

И снова, как не раз до этого, физикам пришлось уверовать в теорию, в буквальном смысле повисшую в воздухе. Пришлось уверовать, несмотря на отсутствие той частицы, которая легла в ее основу. Поверить лишь на основании одних косвенных доказательств правильности теории. Уж больно грозными были эти доказательства!

Долгожданное открытие

Частицу, которую с таким нетерпением ожидали физики, поймали англичанин Сесил Пауэлл и итальянец Джузеппе Оккиалини в 1947 году. Поймали там, где в сильно разреженных слоях воздуха физики условно проводили верхнюю границу атмосферы.

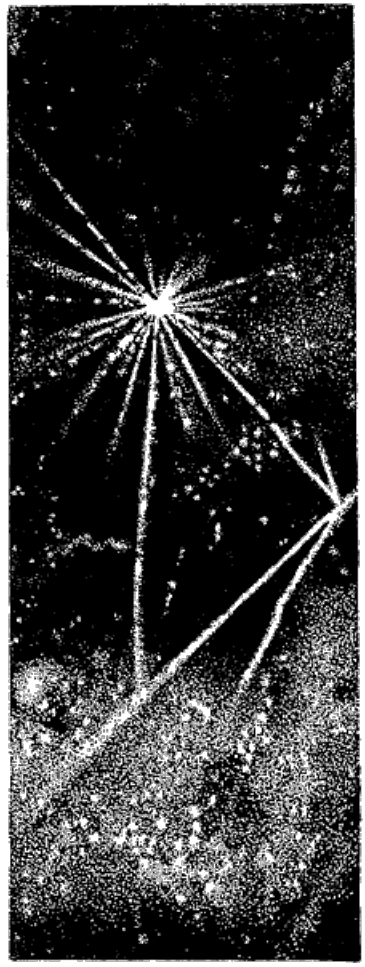
Находка была не совсем случайной. Война помешала охотникам за частицами. В годы, когда над рядом стран нависла

смертельная опасность гитлеровского порабощения, физики покинули мирные занятия. Но сразу же после окончания войны была организована настоящая облава на космические лучи.

На шарах-зондах — тех, которыми столь широко пользуются метеорологи, — поднимались целые гроздья счетчиков Гейгера, большие стопы толстослойных фотоэмульсий. Затем физики получили в свое распоряжение еще более высотный транспорт — геофизические ракеты. С их помощью ученые смогли забрасывать свои приборы на сотни километров в космос.

Там, где плотность воздушного океана становилась совершенно неощутимой, происходило таинство рождения вторичных космических частиц. Там космические частицы колоссальных энергий, пришедшие к Земле из глубин мирового пространства, встречались впервые с ядрами атомов воздуха. Пути этих первичных частиц были усеяны развалинами ядер, вдребезги разбитыми при столкновениях. Там рождались вторичные космические частицы, которые потом достигали поверхности Земли и попадали в приборы ученых.

И эти события смерти ядер и рождения вторичных частиц исправно регистрировали фотопластинки. Ученые увидели на них десятки звезд. Нет, не тех, что светят нам из глубин Вселенной. Звездами они образно назвали следы на фотопластинках, чем-то напоминающие кляксы, с большой силой посаженные на бумагу.

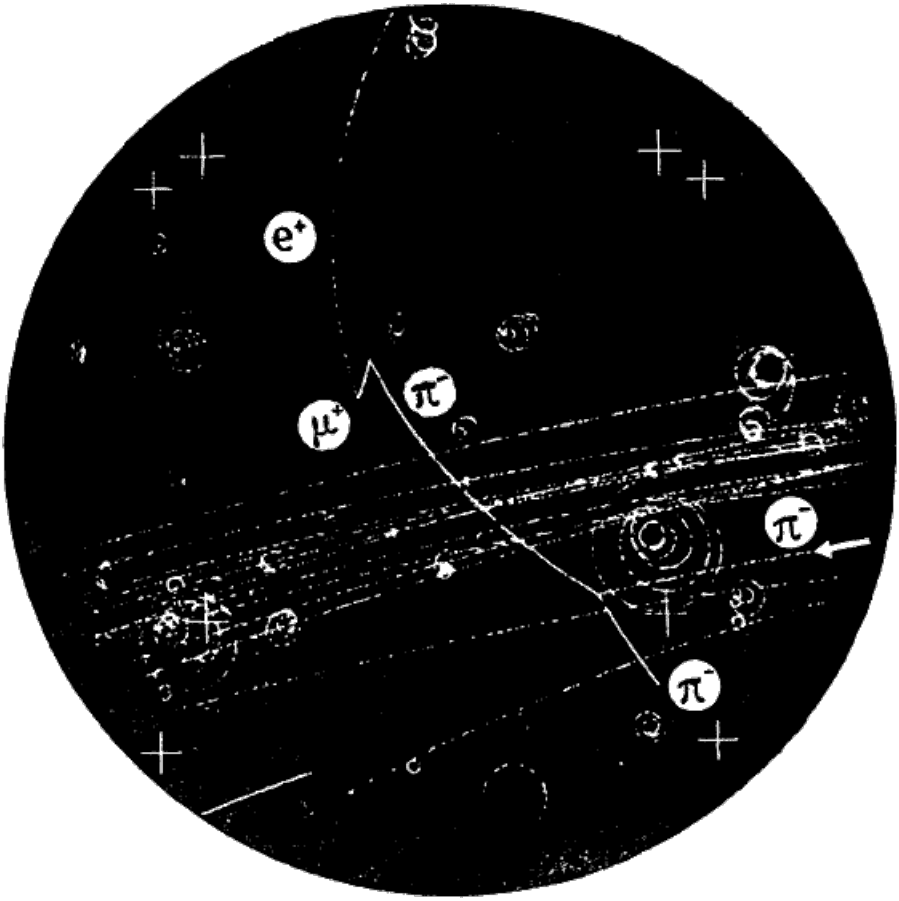


Энергичный пи-мезон, влетев в ядро, разрушил его вдребезги. В фотоэмульсии это событие оставило «звезду». Один из пи-мезонов, покинувших разрушенное ядро, — его след идет вниз направо — в свою очередь столкнулся с другим ядром и образовал новую «звезду».

След первичной частицы вдруг исчезал в черном кружке, а из него во все стороны летели брызги других следов. Это космическая частица с огромной энергией ударила в ядро и не только полностью разрушила ядерное здание, но еще придала его кирпичикам вдогонку внушительные скорости.

И виртуальные мезотроны, запрятанные в недрах ядер, стали реальными. Так из взорванного дома летят не только кирпичи, но и куски скреплявшего их цемента. Пауэлл обнаружил, что эти куски, как и предсказывал в свое время Юкава, существовали в свободном состоянии недолго — еще в добрую сотню раз меньше,

чем открытые до того «подкидыши». И, прекращая свое существование, распадаясь, они рождали эти самые «подкидыши».



Типичная фотография распада пи-мезона. Пришедший снизу пи-мезон родил мю-мезон, а тот рядом же, просуществовав миллионные доли секунды, родил электрон. Моментам распадов отвечают два ясно видимых излома следов.

Вот откуда на Землю лился обильный поток жестких, почти не реагирующих с ядрами мезотронов! Эти мезотроны были даже не вторичными, а третичными частицами. Но это стало ясным лишь тогда, когда физики смогли подняться в верхние слои атмосферы с тем, чтобы разгадать тайну рождения мезотронов.

Новый «настоящий» мезотрон оказался почти в 270 раз тяжелее электрона. Прожив после своего освобождения из ядра лишь стомиллионные доли секунды, он умирал, рождая «подкидыш»-мезотрон, который жил уже в сто раз дольше и за это

время успевал долететь до Земли. Масса его по уточненным подсчетам оказалась равной примерно 207 электронным массам.

Физики окрестили «настоящий» мезотрон пи-мезоном, а «подкидыш» мю-мезоном. Под этими названиями они будут фигурировать в нашем рассказе, пока не выяснится, что мю-мезон, в сущности, вовсе не мезон…

Но для этого должно пройти еще несколько лет.

Мю-мезон в «упряжке»

Мы пока проскочим эти годы. Они — тема особого разговора.

Сейчас же расскажем о том, как остроумные физики нашли хорошую работу «подкидышу». Помните, мы говорили, что мю-мезон почти ни в чем не отличается от электрона? Так полагали физики еще до войны, а последующие годы все более укрепляли их в этой мысли.

Заряд — такой же по величине и по знаку. Затем выясняется, что и спины того и другого в точности одинаковые. Сходство во всем, кроме массы. Мю-мезон начинают называть тяжелым электроном.

Зачем же природе наряду с обычным понадобилось создавать и тяжелый электрон? Этого никто не знает и поныне. Но вот разницу в их массах физики ухитрились использовать.

Они создали искусственные атомы. В этих атомах они посадили на электронные оболочки отрицательные мю-мезоны (в дальнейшем для краткости мы будем называть их «мю-минус»). В самом деле, это вполне возможно, хотя и требует незаурядных экспериментальных хитростей.

Прежде всего потребовалось получить достаточные количества таких частиц, а значит, и их родителей — пи-минусов. Причем не на огромных пространствах воздушного океана, а в крошечных объемах, в которых ведется опыт. Надо, кроме того, работать быстро: мю-минус живет лишь миллионные доли секунды.

Но за это время он успевает сделать полезное дело. Сев на электронную орбиту, он быстро проваливается с нее в глубь атома. Ведь он в двести с лишним раз тяжелее электрона. А значит, его орбита — если пользоваться моделью атома Бора — должна пролегать во столько же раз ближе к ядру, чем такая же орбита электрона в атоме.

Физики взяли атом свинца. Его порядковый номер в

периодической системе — 82. Это означает, что в его ядре — 82 протона, а они притягивают электрон в 82 раза сильнее, чем единственный протон в водородном ядре. Результат нетрудно предвидеть: глубочайшая электронная орбита в атоме свинца расположится в 82 раза ближе к ядру, а глубочайшая орбита мю-минуса… да она, как показывает расчет, вообще должна войти в ядро!

Мю-минус, наверно, там шагу не сможет сделать. Шутка ли — толпа ядерных частиц. Она настолько плотна, что спичечная коробка ядерного вещества весит добрый миллиард тонн!

Но в мире атомов, как мы уже не раз убеждались, становится возможным многое из невозможного. Мю-минус проходит через сверхплотное вещество ядра куда легче, чем нож сквозь масло. В этом ему помогает то качество, из-за которого физики сочли его «подкидышем»: он очень слабо взаимодействует с ядерными частицами.

Предел путешествию мю-минуса в ядре кладет его собственная смерть. Но даже за тот ничтожный жизненный срок, что отпущен ему природой, он успевает совершить триллионы оборотов в ядре. А умирая, вызывает распад ядра, которое столь неосторожно предоставило ему гостеприимство.

Сев же на электронную оболочку, а затем с орбиты на орбиту проваливаясь в глубь атома, наш мю-минус испускает фотоны совсем так, как это делает электрон, прыгая с удаленной на близкую к ядру орбиту. Длины волн мезонных фотонов попадают в область рентгеновых лучей.

Слабенькое излучение! Атомы с мю-минусами (их назвали мезоатомами) совершенно затеряны в массе обыкновенных атомов да и живут ничтожно мало. Физикам, чтобы поймать излучение от них, пришлось пойти на очередную хитрость.

Они так подобрали пару из мезоатома и вещества, улавливающего рентгеновы лучи, что мезоатомные фотоны вышибали электроны из этого вещества. Например, в паре с мезоатомом фосфора работали атомы свинца. В этих условиях свинец особенно сильно поглощал рентгеновы лучи, и их удалось точно измерить.

Настоящий фокус! Но физиков вел не праздный интерес: по измерениям мезоатомного излучения удалось определить размеры ядер и сильно уточнить величину массы самих мю-мезонов. А это, как вы понимаете, весьма важно.

Обманутые надежды

В те же годы «подкидыш» второй раз приобрел скандальную славу. Он второй раз замаячил крупным открытием и опять сник, не оправдав надежд физиков.

В эти годы перед учеными витал призрак близкого осуществления управляемой термоядерной реакции. Физики были в плену надежды, что вот-вот двери в заветную область откроются и мир будет залит потоками даровой термоядерной энергии. Но этот желанный миг все отодвигался и отодвигался.

Сверхвысокие температуры, которые нужны были для начала заветной реакции, никак не удавалось получить. Раскаленная плазма оказалась неподатливой.

А зачем же плазма? — додумался советский ученый Яков Борисович Зельдович. Можно попробовать на антиподе ее — сверххолодном водороде, но заменив его атомы мезоатомами.

Сверхвысокие температуры нужны, чтобы силком сблизить ядра водорода — протоны, несмотря на их бешеную антипатию. Так иногда пытаются помирить врагов, стукая их головами друг о друга. Однако же это примирение можно устроить и более «деликатным» путем! Обычно враги не могут подойти друг к другу: их электронные одежды имеют сравнительно внушительные размеры. А сами эти одежды отталкиваются друг от друга не менее сильно, чем их обладатели.

А если заменить электрон мю-мезоном? Его орбита в атоме в двести с лишним раз меньше электронной! Ядра сблизятся в целых двести раз! И может быть, даже сольются. Тогда произойдет термоядерная реакция.

Физики бросились искать. Столы уже ломились от тысяч фотографий следов, которые оставляли мю-мезоны и образовавшиеся мезоатомы. Нет ли где-нибудь следа развалившегося в термоядерной реакции мезоатома? Первым нашел Луис Альварец из Калифорнийского университета. Все оказалось так, как предсказал Зельдович. Сенсация! Открываются двери термоядерной эпохи!

Увы, сенсация быстро лопнула. Слишком мало мю-мезонов, а главное — ничтожно мал их жизненный срок. То тут, то там они облегчат нужную реакцию, а в целом, в массе вещества о ней и мечтать нечего.

Ядра урана в куске, размеры которого много меньше критических, могут, как мы уже знаем, делиться не только под действием нейтронов, но и сами собой. Однако же нечего и думать устроить на таком делении цепную реакцию. Слишком мал выход, как говорят физики.

Ладно, разочарованно протянули поклонники «термояда». А

их коллеги, словно в утешение себе, взяли и сделали новый искусственный атом — мюоний. Только теперь в нем работал положительный мю-мезон и занял он место не электрона, а ядра. А вокруг этого облегченного ядра бегал электрон.

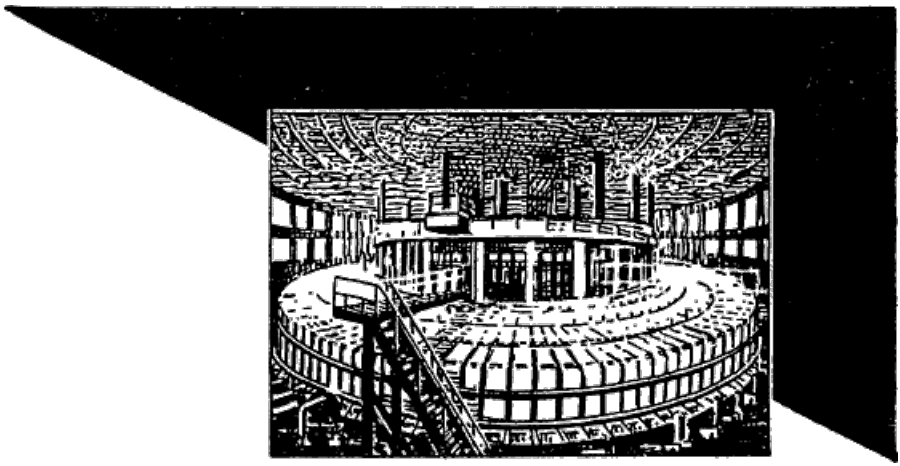
Этот искусственный атом чем-то напоминает позитроний. Только тот кончал жизнь тем, что оба партнера съедали друг друга, а этот умирает более мирно, когда приходит срок жизни мю-мезона. Но и за этот короткий срок мюоний позволил физикам провести интересные опыты.

Ну, а «настоящий» пи-мезон? С ним тоже можно соорудить мезоатомы? Увы, не получится. Ядро с великим удовольствием сажает пи-минус на электронную орбиту, со все возрастающим нетерпением следит за тем, как он перебирается поближе к нему. И жадно пожирает его, даже не дав ему дойти до последней орбиты.

Жадность ядер к пи-мезонам просто невероятна. Это понятно: «своя» частица! И расплата за жадность следует немедленно: ядро взрывается и разлетается веером осколков. На фотопластинке в этот момент «вспыхивает» звезда.

Не беда, что не получился пи-мезоатом. Пи-мезоны нашли себе другие, не менее важные применения. О них нам еще предстоит рассказать.

Глава 7
Нашествие частиц



Первые вестники

В том же 1947 году, когда Пауэлл и Оккиалини открыли пимезон, фотографии космических лучей принесли след еще одной частицы. Английским физикам Стюарту Батлеру и Джорджу Рочестеру, прежде чем они натолкнулись на необычный след, пришлось просмотреть несколько тысяч снимков.

Адова работа! Но как приятно, если она прошла не впустую. Если в хаосе переплетающихся следов, оставленных знакомыми частицами, вдруг отыщется доселе не виданный. Ведь это почти наверняка новая частица!

В самом деле, след необычный. Прежде всего, след самой частицы… отсутствует! Вот как? Каким же образом Батлер и Рочестер додумались до частицы, не оставившей следа?

А вот каким. На фотографии была обнаружена «вилка»: два следа, разбегающиеся из одной точки. Что же насторожило в ней физиков? Подобные «картинки» ученые, казалось бы, видели уже не раз. Налетела альфа-частица на ядро, выбила из него протон, сбила с места само ядро — вот и вилка. Это ее и обнаружил Резерфорд в 1919 году. Образовал энергичный фотон пару из зеркальных братьев, электрона и позитрона, — снова вилка.

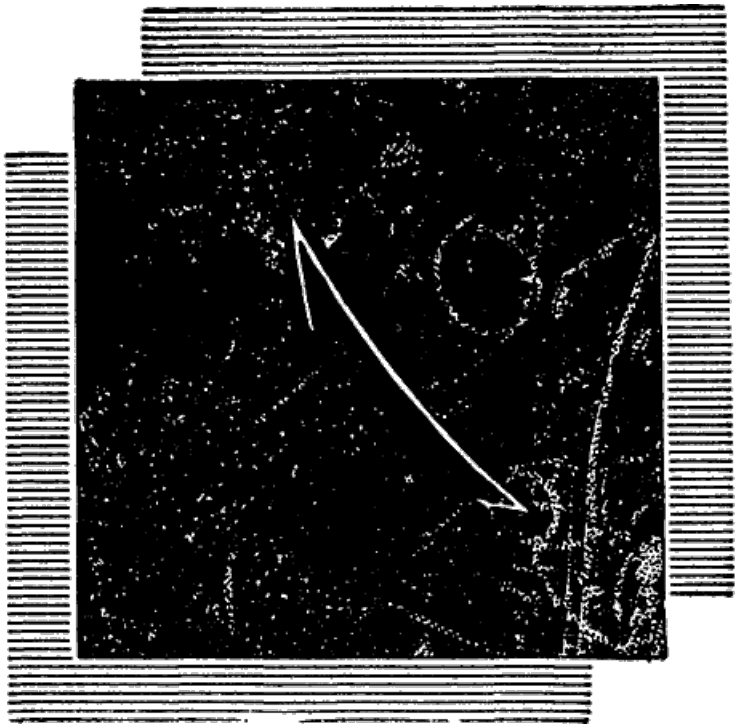
Но то, что обнаружили Батлер и Рочестер, не походило на уже знакомое. Во-первых, не было никаких признаков следа до вилки: значат, заряженная частица в ее образовании не участвовала. Во-вторых, оба следа вилки были довольно жирными и притом не сильно закрученными. Значит, это были следы не электронов.

Спустя некоторое время, когда физики уже хорошо присмотрелись к следам пи-мезонов, не осталось сомнений в том, что оба зуба вилки принадлежат пи-мезонам.

Может быть, какая-то нейтральная космическая частица влетела в ядро и разрушила его? Нет — тогда бы возникла характерная звезда на снимке. Может быть, пи-мезоны пришли откуда-то снизу и, встретившись, слились? Опять же нет: если б это было так, то в местах их рождения должны были бы случиться одновременно и другие видимые события. Может быть, пи-мезоны могли образоваться в стенках камеры? И это невозможно здесь: следы их начинаются и кончаются в газе, вдали от стенок.

Так один за другим отбрасываются все невероятные варианты. Пока, наконец, не остается один, единственно возможный. Сверху в камеру проникла нейтральная частица. В камере она распалась на два противоположно заряженных пи-мезона: пи-плюс и пи-минус. Это событие произошло в точке, откуда начинаются зубья вилки.

Новую частицу, вероятно из-за сходства созданной ею вилки с латинской буквой V, Батлер и Рочестер нарекают V^0-частицей. Нулик показывает, что частица нейтральна, не имеет электрического заряда.



Пришедшая сверху нейтральная V^0-частица распалась на две заряженные — пи-плюс и пи-минус-мезоны. След одного из них внизу сломался: пи-мезон распался на мю-мезон. V^0-частица газа не ионизировала, а потому не оставила следа в камере.

Проходит немного времени, и вилки появляются на фотографиях других исследователей космических лучей. Великое разнообразие вилок: острых, тупых, двузубых, трезубых!

Не проходило и месяца, как в научных журналах появлялось сообщение об обнаружении новой частицы. Положительные, отрицательные, нейтральные, легче протона, тяжелее протона.

Настоящий шквал открытий! У физиков кружились головы.

Скудный космический заповедник, в котором за предшествующие сорок лет были пойманы лишь позитрон да пи- и мю-мезоны, вдруг превратился в сказочный рог изобилия.

«Помилуйте! Не может такого быть!» — возопили теоретики.

Их призыв не остался без ответа. Экспериментаторы снова засели за свои снимки, снова тщательно проверили свои расчеты.

Вот «старый» снимок Батлера и Рочестера. Два пи-мезона. Можно прикинуть их энергию. Получается, по закону сохранения энергии, что родившая их частица должна быть примерно в тысячу раз массивнее электрона.

А вот другая двузубая вилка. Один след жирный и короткий, другой менее толстый, но зато более длинный.

Длинный след принадлежит протону. Он быстро растратил свою энергию и остановился в газе. После чего, естественно, перестал подавать признаки жизни.

Короткий след интереснее. Он тоже обрывается в газе, но с тем, чтобы дать начало новому следу. Этот последний тоже недолговечен. Пробежав коротенький путь, он в свою очередь ломается. А дальше уже бежит пунктирный заячий след электрона.

Целый каскад следов! Он уже знаком физикам: именно так распадается заряженный пи-мезон. Короткий след, без сомнения, принадлежит ему.

Итак, нейтральная частица распалась на пару из положительного протона и отрицательного пи-мезона. Общая сумма образовавшихся частиц явно больше массы протона. А если к ней добавить еще и часть массы, которая пошла на энергию частиц, то масса родителя оказывается близкой к 2200 электронным.

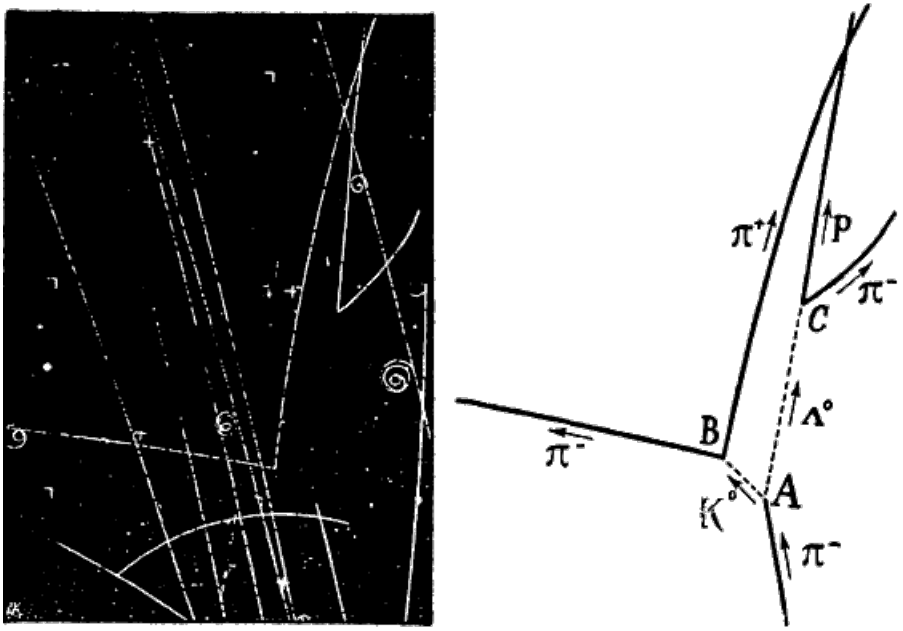
Физики в самом деле ошарашены. Они и думать не могли, что существуют такие сверхтяжелые частицы!

Новую частицу тоже было пытаются окрестить V-частицей. Но эта буква уже занята. К тому же другие физики полагают, что вилка (она может быть и зубьями вниз) больше похожа на греческую букву Λ — ламбда.

Это обозначение в конце концов побеждает. Видимо, потому, что после открытия пи- и мю-мезонов (π и μ — тоже греческие буквы) греческий алфавит вошел в моду у охотников за частицами.

И вот, наконец, подведен первый итог. Действительно, многие частицы пришлось «закрыть» — еще быстрее, чем они были открыты. И все же, когда схлынули «миражные» частицы, в сетях физиков оказался богатый улов. Целых семь новых частиц!

Положение переменилось. Раньше теоретики предсказывали какую-либо новую частицу на кончике пера, а экспериментаторы потом годами искали ее. Теперь столы теоретиков ломились от свежей дичи. А теоретики, честное слово, не знали, что с ней делать!



Фотография совместного рождения ка-нуль-мезона и ламбда-нуль-гиперона. Отрицательный пи-мезон, столкнувшись с протоном в точке А, родил две нейтральные частицы. Одна из них в точке В распалась на два пи-мезона — положительный (след вверх) и отрицательный (след влево). Отсюда и заключили, что в точку В полетел ка-мезон. Другая частица в точке С распалась на протон и пи-минус-мезон (след последнего искривился в магнитном поле). Эта частица и есть ламбда-гиперон. О попытках объяснить тот факт, что обе V-частицы всегда рождаются вместе, вы можете прочитать в главе 9.

Группа мезонов пополнилась «лихой» тройкой ка-мезонов: положительного (K^+), отрицательного (K^-) и нейтрального (K^0). Мы не ради красного словца так окрестили эту тройку. С ней физикам в ближайшие годы предстояло хлебнуть немало лиха. Кстати, K^0-мезон — это та самая V^0-частица, которую открыли Батлер и Рочестер.

К частицам тяжелее протона (их назвали гиперонами), кроме ламбды, добавились еще две сигмы (Σ^+ и Σ^-) и, наконец, кси-минус (Ξ^-).

Терпению приходит конец

Да, такой богатый улов не мог не порадовать экспериментаторов. Но — семь частиц на сотни тысяч просмотренных снимков! Это все равно, что миллиграмм радия на тысячи тонн переработанной руды. В конце концов открытие искусственной радиоактивности избавило человечество от каторжного труда по добыче радия.

Может быть, теперь ученые найдут способ извлекать новые частицы каким-то другим путем, — не выуживая их поодиночке из многих миллионов космических частиц? «Земные» физики сочувственно отнеслись к горячей просьбе физиков «космических».

Мы уже познакомились с первыми плодами этого сочувствия — ускорителями заряженных частиц. Генератор Ван-де-Граафа, генератор Кокрофта и Уолтона…

Но эти машины все же не решали проблему, вставшую перед физиками пятидесятых годов. Они разгоняли частицы-снаряды до миллиона, много — до десятка миллионов электрон-вольт. Что же, из ядер вылетали нейтроны, иногда протоны — и ничего больше. Ядра словно откалывались с краев, летели осколки-кирпичики. Но в целом ядерные здания оставались неповрежденными.

Да, нужны были более высокие энергии. В сотни раз более высокие! В этом физиков убеждали довольно простые соображения. Вспомним, как рождаются фотоны. Для этого электронам в атоме тем или иным способом сообщалась энергия, они прыгали на удаленные от ядра орбиты. И, возвращаясь назад, рождали фотоны. Именно фотоны, а не что-нибудь другое: электроны с атомными ядрами связывает электромагнитное поле. И кванты энергии этого поля есть фотоны.

Отныне предстояло такую же операцию провести на ядре. Но извлечь из него нужно было уже не фотоны, а «кванты», отвечающие ядерному полю, — пи-мезоны. Виртуальные мячи для ядерного волейбола должны были стать реально существующими в свободном виде. Тренер, чтобы отобрать мячи у заигравшихся команд и вынести их за пределы площадки, должен был бы, однако, обладать недюжинной силой.

Достаточно вспомнить спор поклонника теории Дирака и ее противника, который мы привели в главе о позитроне. Чтобы виртуальный позитрон стал совершенно реальным и наблюдаемым с помощью приборов, потребовалась энергия, более чем вдвое превышающая его энергию покоя, — около миллиона электрон-вольт.

Сколько же потребуется теперь для пи-мезонов? А во сколько

раз пи-мезон массивнее позитрона? В 274 раза? Значит, во столько же раз больше и энергия. Ого, почти триста миллионов электрон-вольт.

«Это для нас столь же недосягаемо, как полет на Луну, — сказали бы физики довоенного времени. — Нечего и надеяться достичь таких энергий в ближайшие десятилетия!»

Жизнь, как водится, опрокинула эти и многие другие, даже менее осторожные прогнозы. Получение колоссальных энергий оказалось делом не многих десятилетий, а всего лишь нескольких лет.

Благодаря, если так можно выразиться, денежной идее.

Можно напечатать денег столько, что их хватит для расчетов на десять лет вперед. А деньги, уплаченные за товар, погашать и выбрасывать. Можно поступить и экономнее: напечатать денег во много раз меньше, но уплаченные за товар деньги не выбрасывать, а снова пускать в оборот. Понятно, чем быстрее они оборачиваются и приходят обратно, тем меньше денежных знаков надо печатать.

Этот остроумный принцип и привлек физиков. В самом деле, генератор Ван-де-Граафа, например, выпускает «деньги» самым неэкономным способом: он всю энергию сразу целиком отдает частице. Ему приходится сразу печатать уйму «денег» — иными словами, получать очень высокое напряжение, которое он все израсходует за один раз.

Почему бы не поступить экономнее: вместо того чтобы один раз разогнать частицу огромным напряжением, разгонять ее много раз небольшими «кусочками» этого напряжения? Идея «денежного обращения» оказалась необычайно плодотворной. Сегодня ее используют почти во всех ускорителях заряженных частиц.

От пушки к праще

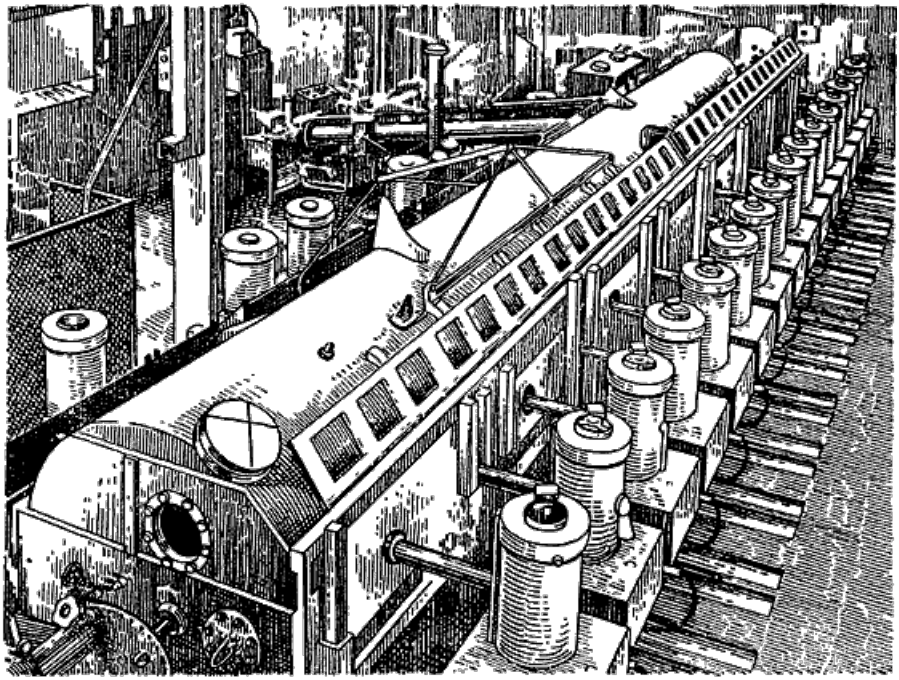
В 1938 году швейцарский физик Видероэ построил по этому принципу первый в мире линейный ускоритель. Он отличался от ускорителя Ван-де-Граафа не только сравнительно небольшим напряжением. Труба, в которой Видероэ ускорял частицы, была в десятки раз длиннее, чем у его предшественника.

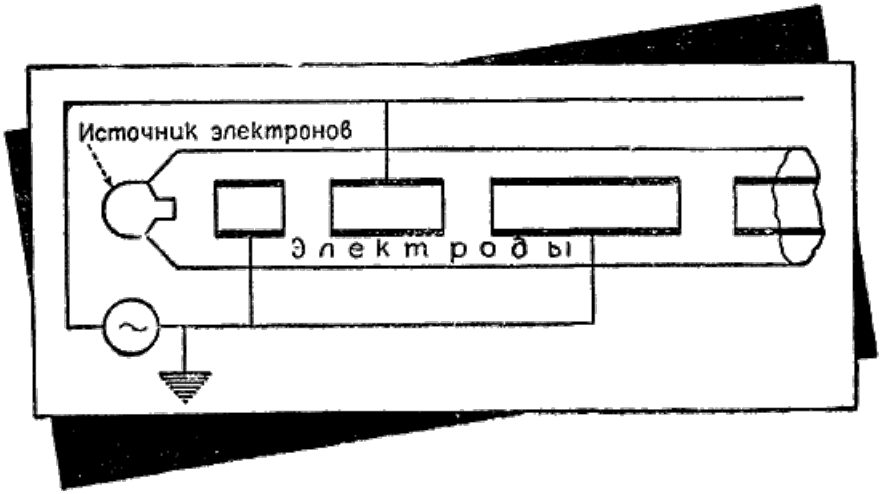
Оно и понятно. Чтобы приложить напряжение «зараз», особо длинной трубы не требуется. Достаточно лишь, чтобы между электродами, на которые подано высокое напряжение, было такое

расстояние, чтобы не происходило пробоя. Для миллиона вольт требовалось несколько метров.

Видероэ разместил вдоль трубы много электродов. Пролетела частица, например протон, через пару электродов, — словно получила шлепок по спине. Шлепок по сравнению с ван-де-граафовым просто нежный. Но таких шлепков он испытает не один, а много.

И с каждым шлепком наращивает протон свою скорость, все быстрее проносится мимо очередной пары электродов. И чем дальше, тем более длинной приходится делать такую пару, чтобы она успела за время пролета мимо нее как следует шлепнуть протон.





Линейный ускоритель. В длинной трубе установлены электроды, дающие «шлепки» частице, когда та пролетает мимо них. Сегодня частицы на таких ускорителях набирают солидную энергию до 2 миллиардов электрон-вольт.

И машина заработала. Ее потомков ожидало большое будущее, но совсем не то, на которое рассчитывали физики. В 1938 году уже победил другой принцип постройки ускорительных

машин. Потребовалось экономить не только на напряжении, но и на размерах машины. Ускоритель Видероэ, если его рассчитать на энергию в миллиард электрон-вольт, должен был бы иметь совершенно гладкую и прямую трубу длиною чуть ли не в километр!

Новый принцип ускорителя можно назвать одним словом: праща. Да, частицы, двигаясь по кругу, наращивают свою скорость так же, как камень в праще.

Гигантские пращи обошли всю мировую печать, под названием синхроциклотронов и синхрофазотронов. Но, с удивленным уважением разглядывая их фотографии, мы обычно не задумываемся над тем, что они действуют по тому же принципу, который открыл наш гениальный первобытный предок.

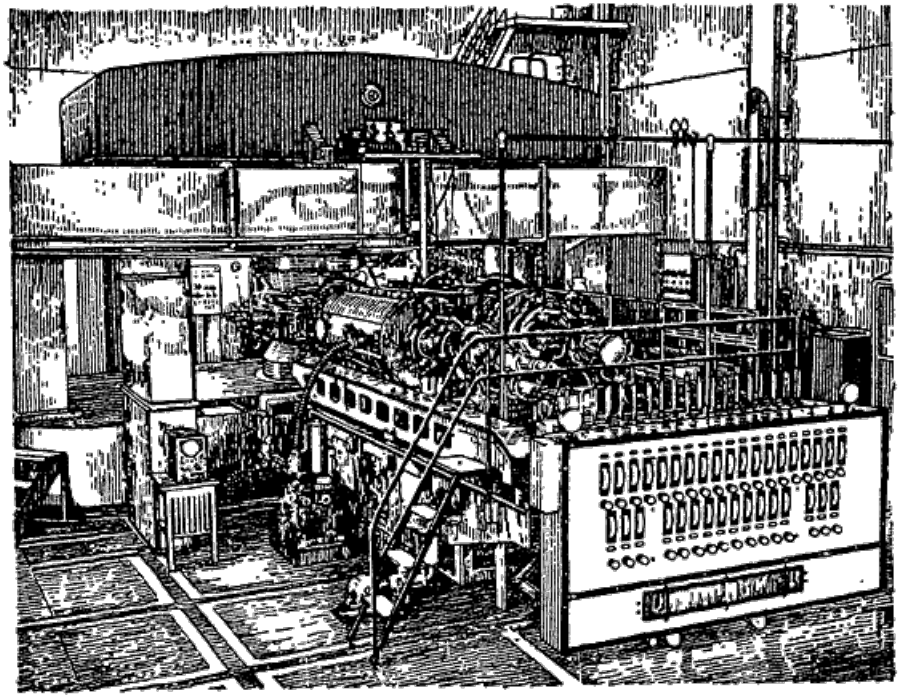
Не знаю, развлекался ли американец Эрнст Лоуренс когда-нибудь на «колесе смеха». Но путь частицы в придуманном им циклотроне удивительно напоминает путь человека, задумавшего удержаться на этом колесе. Человек чуть ли не инстинктивно становится в центр колеса. Колесо начинает вращаться. И через минуту, описав обыкновенную спираль, наш герой слетает на пол.

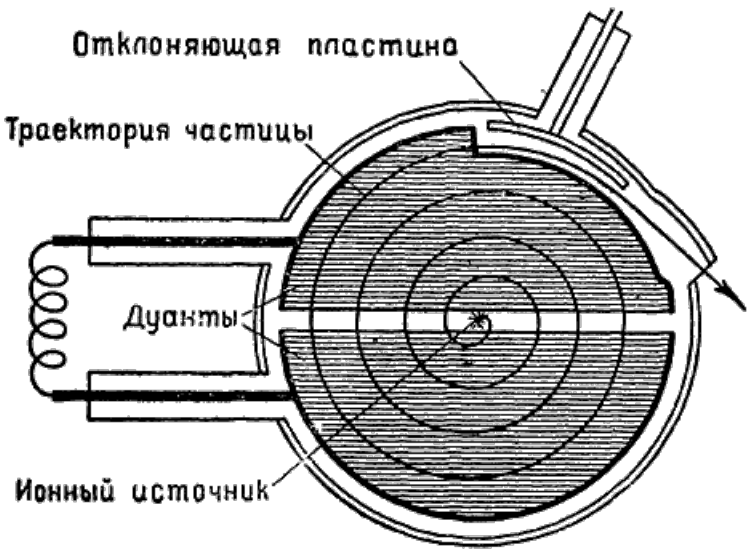
Да, прикладывать напряжение по «кусочкам» можно не только на прямой беговой дорожке, но и на дорожке стадиона. Для этого нужно лишь завернуть бегуна.

Наш бегун — заряженная частица. И вы уже догадываетесь — нам это встречалось не раз, — что завернуть частицу можно магнитным полем.

Так оно и есть. Беговую дорожку для частиц Лоуренс поместил между полюсами сильного магнита. Размеры установки сжались. Вместо десятков электродов, как это будет у Видероэ, Лоуренс ограничивается двумя.

У Видероэ именно «будет»: первый циклотрон Лоуренса заработал еще в 1934 году.





Циклотрон. Электроны впускаются в циклотрон между дуантами, а затем, разгоняясь в электрическом поле, описывают по мере нарастания их энергии раскручивающуюся спираль. На последнем ее витке они либо выводятся из ускорителя, либо падают на мишень, установленную внутри ускорительной камеры. Подобным же образом разгоняются протоны и ионы в современных циклотронах. Они служат для изучения ядерных реакций и

для искусственного получения ядер трансурановых элементов.

Вот на рисунке вы видите две полые коробки. Называются они дуантами, а выполняют роль электродов. Питает их переменное напряжение. Частота его подобрана так, что частица — например, тот же протон — получает шлепок именно в тот момент, когда она переходит из одного дуанта в другой.

Но протон ведь движется все быстрее и быстрее! Значит, шлепки не будут поспевать за ним? Опасения излишни: протон раскручивается по спирали, как наш весельчак на «колесе смеха». Выше скорость — шире виток спирали, больше пройденный путь — и то же время оборота.

Засеките время, когда мимо вас на колесе промчится человек, и отмечайте это время каждый раз. Вы увидите, что, как бы он ни старался, он будет делать полный оборот за одно и то же время. Только скорость вращения пассажира зависит от скорости колеса, а скорость вращения электрона — от частоты переменного напряжения.

И, наконец, частица вылетает вон из циклотрона, подобно камню из пращи. Что ж, скорость ее довольно велика: протон в циклотроне может набрать энергию до 25 миллионов электрон-вольт. При столь энергичной бомбардировке ядерные реакции идут уже полным ходом. Из ядер летят целые тучи частиц, — и среди них нет ни одной искомой. 25 и 300 миллионов электрон-вольт — слишком далеки они друг от друга!

Но почему только 25 миллионов электрон-вольт? Почему не разгонять те же протоны еще и еще, пока они не наберут желанной энергии? Спираль слишком раскручивается? Усильте магнитное поле, и она сожмется, или же увеличьте диаметр циклотрона. Цель ведь оправдывает средства.

Это верно. Цель оправдывает любые средства. Ради знания глубочайших тайн мироздания сегодня строятся десятки могучих машин, — а каждая такая машина стоит колоссальных денег. «Дороговаты нынче электрон-вольты!» — как-то шутливо заметил один физик, и в этой шутке большая доля правды.

Причина того, что циклотрон не дает частицы с желанной энергией, вовсе не в деньгах, а в… самих частицах. Они — существа упрямые. Первым подметил их упрямство — еще задолго до появления первого ускорителя — Альберт Эйнштейн.

Праща совершенствуется

Дело в том, что частицы, по мере того как их скорость приближается к скорости света, все сильнее сопротивляются дальнейшему ускорению. Проявляют это они единственным доступным им способом: увеличивают свою массу. Это необычайное поведение и предсказала теория относительности.

И это же поведение вызывает самые плачевные последствия в циклотроне. Электрическое поле в нем приготовилось в очередной раз шлепнуть частицу, а та «отяжелела», разленилась и не поспела к шлепку в назначенное время. Шлепок пришелся по пустому месту.

И это даже полбеды. После шлепка поле повернулось в обратную сторону. Если теперь частица подойдет к промежутку между дуантами, поле, вместо того чтобы ускорить, напротив, замедлит ее!

Великая вещь — действовать «в такт»! Попробуй-ка раскачай качели, то толкая их, то задерживая. Седоки вряд ли будут довольны.

Но закон есть закон. Обойти его нельзя. Примириться тоже не хочется. В стене перед заветной областью больших энергий стоит поискать лазейку.

И в 1944 году эту лазейку, почти одновременно и совершенно независимо друг от друга, находят советский физик Владимир Иосифович Векслер и американский ученый Эдвин Мак-Миллан. Лазейка называется по-научному «принцип автофазировки».

…Есть такой красивый цирковой номер. На афишах он обычно набирается аршинными буквами: «Дрессированные лошади! Труппа под руководством заслуженного артиста такого-то… Смотрите! Спешите!»

Под звуки бравурного марша на манеж вылетает десяток белых лошадей, за ними, кувыркаясь, выбегают лихие джигиты. И, наконец, не спеша появляется в красивом камзоле дрессировщик с хлыстиком. Лошади бегут по кольцу все быстрее и быстрее, джигиты на полном ходу то вскакивают на спины лошадей, то виснут под брюхом, то снова спрыгивают на землю — быстро, легко, красиво. Одним словом, цирк. А лошади, как ни в чем не бывало, бегут плотным строем.

Вот такой «цирк» и решил устроить Векслер с протонами в циклотроне. Протон, отяжелевший от огромной скорости, подобен лошади, на спину которой вскочил наездник. Быстрее, быстрее летит лошадь — второй, третий наездник влезают на нее, затем на плечи друг другу, — по кругу несется уже целая живая пирамида. А дрессировщик, чтобы лошадь не замедляла своего движения, все чаще подгоняет ее взмахами хлыста.

Электрическое поле — со все возрастающей частотой!

Именно эта мысль пришла в голову Векслеру. Чем больше тяжелеет частица, тем чаще толкает ее поле.

Стоп… Но ведь поле «не знает», насколько отяжелела частица. Частицы не все ведь движутся с одинаковой скоростью. Как же поле умудряется шлепать частицы «в такт»?

Тут-то и начинается самое интересное. В группе частиц, конечно, всегда найдется такая группка, которой «такт» электрического поля вполне подойдет. Но число частиц в этой группе столь невелико, что ради нее не стоило огород городить. А как же остальные частицы?

И тут выясняется, что бегущие частицы не уступают в «слаженности» цирковым лошадям! Забежала одна лошадь вперед или отстала — она тут же замедляет или убыстряет свое движение так, чтобы сохранился плотный строй.

Разумеется, частицы далеко не так дрессированы, как цирковые лошади. Частиц на ходу подправляет само переменное электрическое поле. Забежала частица вперед, набрав большую энергию, значит, на следующем обороте она получит «неполный» шлепок и замедлится. Отстала частица — будет получать шлепки посильнее, пока не попадет «в фазу». Частицы словно сами подгоняют себя в фазу с электрическим полем, — оттого и явление было названо «автофазировкой».

Растущая при ускорении масса частиц перестает быть помехой. С нею вполне справляется поле с переменной частотой. Для этого необходимо лишь менять частоту поля синхронно с увеличением энергии и массы частиц. Как это делается, мы не будем рассказывать. Окончательная частота поля определяется только той энергией, которую вы пожелаете сообщить частицам.

От идеи до конструкции

Удивительно простая и красивая идея! Физики не замедлили ухватиться за нее.

Прошло всего лишь пять лет, и в небольшом подмосковном городке Дубне заработал первый в СССР циклотрон, воплотивший идею Векслера. Физики, желая подчеркнуть, что циклотрон не простой, а особенный, меняющий частоту поля синхронно с набором частицами энергии, окрестили его синхроциклотроном.

Здание синхроциклотрона в Дубне было построено в молодом сосновом лесу. Вокруг него все время ходит ветер. «Разгоняет

воздух, чтоб чище работать было», — шутят физики. Здание до половины обложено земляной насыпью. Из-под нее выглядывают толстые бетонные брикеты.

По высокой лестнице поднимаемся на второй этаж. Отодвигается массивная дверь, и мы попадаем в главный зал.

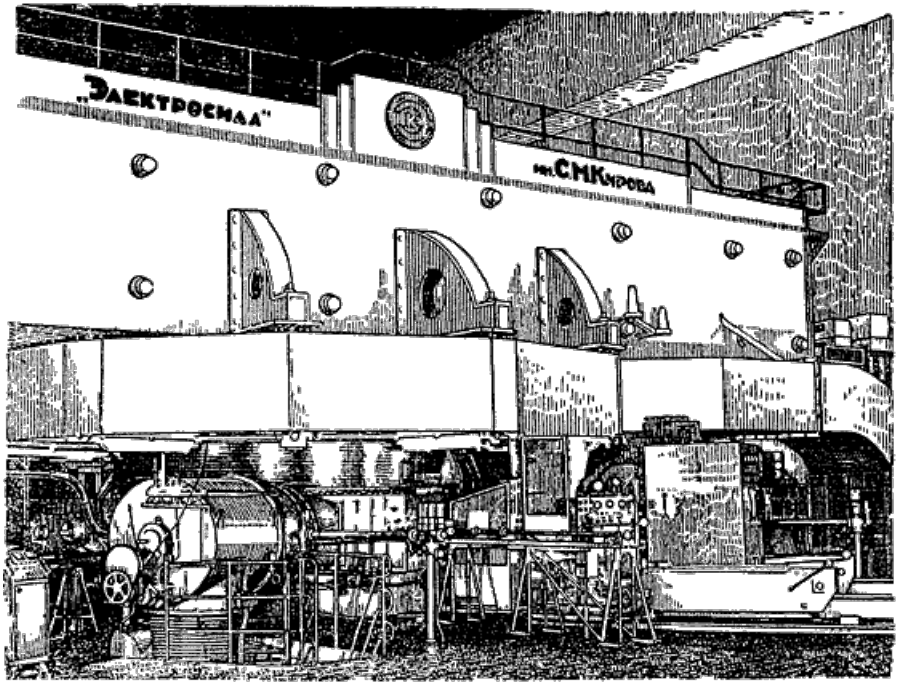
Первое впечатление — как в машинном отделении большого корабля. Кажется, вот-вот донесется с мостика капитанская команда и заработают машины, сотрясая стальной пол. Но сегодня на мостике, находящемся на высоте трехэтажного дома, пусто. Лишь несколько техников работают у огромных насосов, соединенных с тонкой стальной коробкой.

Это — ускорительная камера, втиснутая между полюсами исполинского семитысячетонного магнита. Тут же сбоку пристроился генератор переменного электрического поля.

Теперь можно перейти на другую сторону машины. На коробке видна длинная продольная красная черта, словно шов, только что наложенный хирургом. Операция будто еще не кончена, хирург еще не извлек зондов из раны. Вот они, зонды, — блестящие металлические штанги, уходящие в тело ускорителя.

Красная черта — это тонкая латунная оболочка для вывода из камеры вторичных излучений. А образуются они на самом кончике «зонда», где укреплена мишень.

Пучок протонов, разогнанный до энергии 680 миллионов электрон-вольт, ударяется о мишень — пучки пи-мезонов и других частиц — нейтронов и мю-мезонов — вылетают через тонкое окошко, проносятся через главный зал и сквозь прорубленные в его толстенной стене бойницы проникают в соседний зал, где эти частицы попадают в приборы. Здесь и ведется охота за ними.



Синхроциклотрон в Дубне для разгона протонов до энергии 680 миллионов электрон-вольт. Видна узенькая ускорительная камера, зажатая между полюсами гигантского магнита. Справа в камеру введен «зонд» — металлическая штанга с установленной на конце ее мишенью. Пучок протонов, циркулирующих в ускорителе, также можно вывести наружу и направить на мишень, находящуюся вне ускорительной камеры.

Зачем же все эти массивные двери, стены многометровой толщины, как в средневековой крепости? Тоже для защиты людей — здесь от ядерных снарядов. К космическим лучам мы уже «привыкли»: тысячи частиц ежеминутно пронизывают наше тело, не нанося ему заметного вреда. Но синхроциклотрон ежесекундно образует многие миллиарды «космических» частиц. От них нужна уже серьезная защита. И не только людей, но и установок: иначе все посторонние частицы могут существенно «загрязнить» опыт.

Вот почему и оставлены в толстенных стенах лишь узенькие бойницы для впуска частиц. Вот почему, когда работает ускоритель, людей нет не только в главном, но и в соседних залах. Показания всех приборов передаются на довольно большое расстояние, где в больших и светлых комнатах работают ученые.

Сильное впечатление оставляет махина синхроциклотрона! Но оно меркнет, когда вы попадаете в главный зал синхрофазотрона. Колоссальная «гофрированная» баранка уже ни в малейшей степени не напоминает своего далекого предка — пращу.

Диаметр баранки шестьдесят метров, вес магнита — 36 000 тонн, вакуум в ускорительной камере очень высокий — давление там в миллиард раз меньше атмосферного, огромная точность сборки секций магнита на всей двухсотметровой длине ускорительной дорожки. Эти цифры убедительно свидетельствуют об уровне техники двадцатого века!

Но даже не они восхищают физика. Десять миллиардов электрон-вольт, вот в чем ключ к той двери, за которой открывается чудесная область новых поразительных открытий. Восемь лет отделяют практический пуск синхрофазотрона от пуска его предшественника — синхроциклотрона в Дубне.

А почему сразу нельзя было сделать машину на десять миллиардов электрон-вольт и даже еще в тысячу раз большую энергию?

Казалось бы, автофазировка не ставит пределов разгону частиц.

Однако не в одной автофазировке дело. Когда голую идею начинают одевать в листы точных расчетов и чертежи реальных конструкций, ее мощь, кажущаяся поначалу такой безграничной, принимает гораздо более скромные размеры.

Попробуйте представить себе знаменитую скульптуру Давида, изваянную гениальным Микеланджело (ее копия есть у нас в Москве, в Музее изобразительных искусств), попробуйте представить себе Давида, одетого в современный пиджак и «стильные» брюки. Что останется от его мощи! «От всей мощи остались одни мощи» — как остроумно заметил один физик, присутствуя при очередном разгроме соблазнительной на вид идеи.

Идее Векслера, конечно, такая участь никоим образом не угрожала. Но ее практическому осуществлению все же имелся предел. Если бы синхроциклотрон спроектировать на те же 10 миллиардов электрон-вольт, то его магнит весил бы ни много ни мало… 20 миллионов тонн! Понятно, что физиков удержало от постройки такой машины столь «весомое» соображение!

Да, беда в том, что вес магнита растет, как куб энергии, до которой разгоняются частицы в этой машине. Слишком быстро

растет!

Значит, надо менять конструкцию машины. Магнит столь тяжел потому, что частицы надо ускорять, как говорится, от нуля.

В начале ускорения частицы имеют ничтожные скорости. Затем они раскручиваются по спирали. Диаметр витков все более растет. И на каждом витке за ними должен следить магнит, предупреждая растущее их желание сорваться с магнитной цепи и врезаться в стенки камеры. Оттого-то магнит и должен охватывать всю камеру.

Раскручивающиеся… Это наводит на интересную мысль. Момент, пока лошади выбегают на манеж цирка, для нас ведь не главный. Другое дело, когда они, выстроившись, бегут по кольцу, огибая барьер манежа — вот когда мы глядим в оба.

По кольцу, по кольцу…

Почему бы не заставить и частицы в ускорителе бежать по кольцу? Ускорять их не от нуля, а от уже солидной энергии? Приготовить энергичные частицы в каком-нибудь другом, не таком мощном ускорителе, а затем «впрыснуть» в основной? И магнит можно будет взять куда легче, и поле его можно будет сделать побольше!

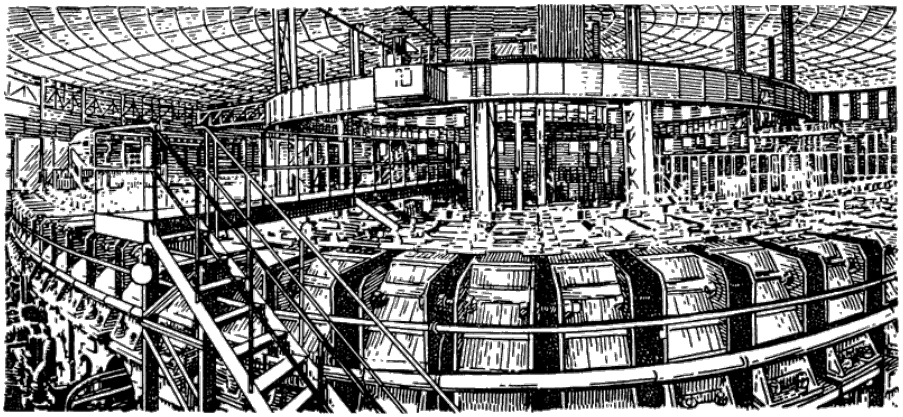
Так родилась идея синхрофазотрона. А вещественным ее воплощением стали дубненская и ряд других аналогичных машин.

В дубненском агрегате ускорение протонов происходит в три этапа.

Протоны, получаемые, как обычно, при разложении водорода, выходят в трубку, между электродами которой приложено напряжение 600 тысяч вольт. Затем они поступают в линейный ускоритель (того типа, который когда-то сделал Видероэ), где набирают энергию в девять миллионов электрон-вольт.

И только после этого впрыскиваются в камеру синхрофазотрона.

Магнитное поле в этой машине уже не постоянно, а меняется в такт с электрическим полем. Поэтому момент и направление впуска протонов в камеру приходится выдерживать с огромной точностью — куда точнее, чем даже момент и направление запуска космической ракеты.



Синхрофазотрон в Дубне для разгона протонов до энергии 10 миллиардов электрон-вольт. Видны отдельные блоки — секции мощного электромагнита. Внутри них запрятано кольцо ускорительной камеры. Трубы внизу соединяют камеру с насосами для выкачивания из нее воздуха.

Сотые доли секунды, десятые доли градуса — нам это казалось верхом точности. А в синхрофазотроне речь идет о миллионных долях секунды и чуть ли не тысячных долях градуса! Малейшая ошибка — и пучок протонов, вместо того чтобы ускоряться, врежется в стенки камеры.

Изволь после этого очищать камеру, готовить новую порцию протонов.

Поэтому все операции на ускорителе делает автоматика. Она не придет на работу, не выспавшись, у нее не дрожат руки, не застилает от напряжения глаза. Но за нею тоже нужен глаз да глаз. Поэтому на ускорителе — как на большом заводе: на десяток «руководящих» физиков приходятся сотни инженеров и техников.

С каждым годом «промышленность космических энергий» — иначе не назовешь! — пополняется новыми машинами.

Уже в Америке и Швейцарии работают синхрофазотроны, разгоняющие протоны до тридцати миллиардов электрон-вольт. У нас под Серпуховом скоро вступит в строй машина на семьдесят миллиардов электрон-вольт.

На пороге фантастики

Поистине космические энергии! Но физиков они уже не удовлетворяют. Почему — об этом будет еще разговор.

В чем же дело? Стройте себе на здоровье еще более «энергичные» машины!

Увы! Даже идея синхрофазотрона подходит к пределу практической осуществимости. Снова растут вес магнита и диаметр кольцевой дорожки. Вы восхищаетесь цифрами — 200 метров, 36 000 тонн. А думаете — это хорошо, это экономно?

…Один английский писатель удивительно точно описал ощущения своего героя, разглядывающего великие египетские пирамиды. Очень точно — и всего лишь двумя словами: «высокомерное восхищение».

Сорок веков смотрели на путешественника с высоты этих пирамид. И он смотрел на пирамиды с высоты сорока веков человеческого знания.

Он восхищался подвигом безвестных строителей пирамид. Голыми руками, пользуясь лишь самыми примитивными приспособлениями, они смогли с замечательной точностью взгромоздить колоссальные каменные глыбы друг на друга в идеальную геометрическую фигуру.

Он с высокомерной улыбкой думал, что сегодня подобный памятник человеческому могуществу удалось бы возвести в тысячекрат легче. И еще он думал о том, что с каждым веком такие памятники становятся все меньше, что ценность творений человека измеряется уже более не их внешней величиной, а заложенными в них великими возможностями.

Это воспоминание пришло мне на ум возле синхрофазотрона. Я на минуту становлюсь фантастом… И вот уже сорок веков спустя мой далекий потомок с «высокомерным восхищением» разглядывает «Колизей двадцатого века» — давно забытый синхрофазотрон.

Его поражает, как люди, лишь за век до этого открывшие электричество, научились с его помощью разгонять в считанные секунды до космических энергий частицы, которые были открыты еще спустя полвека. Он восхищен точнейшей формой ускорителя — плодом долгих расчетов ученых и виртуозного мастерства инженеров и строителей.

И «высокомерная» улыбка трогает его губы. Такая гигантская машина — и такой скромный результат!

Нет, он отдает должное ее создателям: в двадцатом веке люди уже умели достигать такой концентрации энергии в крошечных объемах пространства, которая оставляла позади достижения самой природы в космосе. Они уже приближались к «звездной» концентрации энергии! И все-таки, с высоты сорока

веков, получаемые людьми двадцатого века электрические и магнитные поля кажутся ему скромными.

У пришельца в руке поблескивает крошечный прибор. Этот прибор ускоряет уже не отдельные сгустки частиц, а такие «сверхсгустки», как целых людей. В своем маленьком корпусе он сосредоточивает энергию, о которой сорок веков назад вообще не могли и мечтать. С помощью этого прибора мой далекий потомок может разогнаться до околосветовой скорости и в считанные часы достичь удаленных галактик.

…«Машина времени» останавливается. Видение исчезает. Я снова стою в главном зале синхрофазотрона…

Через несколько часов я уезжал из Дубны. Передо мной вновь мелькнуло и скрылось за частоколом сосен круглое приземистое здание величайшего «цирка» нашего века. Я думал о том, что покорение атомного мира человеком идет по неизбежному пути все большей концентрации энергии в небольших объемах.

Я думал о том, что машины, как и идеи, в наш век быстро стареют, а на смену им приходят новые замечательные машины и идеи. И я понял, что улыбка моего далекого потомка не будет высокомерной. Машины могут стареть, но никогда не устареет восхищение потомков непрестанным, трудным и вдохновенным восхождением предков!

На баррикадах

Все измерительные залы при крупнейших ускорителях мира похожи друг на друга, как, в общем, схожи и сами ускорители. Они появились на свет в глухую пору холодной войны, когда даже такие сугубо мирные вещи, как изучение частиц сверхбольших энергий, были скрыты за завесой секретности. В глазах людей, не очень искушенных в науке, физики, только что создавшие атомные и водородные бомбы, были окружены ореолом грозного величия. До войны изучение нейтронов тоже казалось предельно мирным занятием, а что из этого получилось!

Одними из первых бреши в стене надоевшей всем холодной войны пробили физики. Западные ученые стали бывать в Дубне, наши физики отправились за океан, в США, где в пятидесятые годы были построены такие же крупные ускорители. И что же? Оказалось, что всюду одинаковы и люди и ученые. И творческая мысль ученых шла по схожим путям.

Первое впечатление, когда попадаешь в измерительный

зал, — как на баррикаде. После строгой и чинной чистоты главного зала ускорителя — теснота от огромных приборов, хаос проводов. В стене, на полу, на приборах — тяжелые брикеты бетона и свинца. Они-то и усиливают сходство с баррикадой, напоминая то ли булыжники, то ли мешки с песком. В защитной стене зала, обращенной к ускорителю, проделаны узкие бойницы. В бойницы уставились внимательные глаза счетчиков.

Проходит полчаса, и впечатление хаоса исчезает. Перестаешь пугаться сдвинутых плит в полу, под которыми открывается бездонный, скучный и безлюдный, словно преисподняя, подвал. Сами собой ноги перестают спотыкаться в путанице толстых и тонких проводов. И тогда становится понятным, что эта теснота — та самая теснота конвейера большого завода, где люди делают общее дело, не мешая при этом друг другу.

Мы уже рассказывали о том, что частицы выводятся из камеры ускорителя на небольшом ее участке. Включено поле — и спустя секунду мощный сгусток протонов обрушивается на мишень в камере. Тогда через тонкую латунную ее оболочку наружу вырываются миллиарды частиц и фотонов. Широким веером они разбрызгиваются по стенам зала — все эти нейтроны, мезоны, гипероны, гамма-кванты.

Но еще в главном зале на пути от ускорителя к бойницам можно было увидеть длинные блестящие трубы, четырехугольные каналы, словно обложенные подушками. Эти трубы и подушки — последние имеют название магнитных линз — служат одной цели. Они формируют пучки вторичных частиц для ввода их в соседний зал.

Первой в этом зале начинается сортировка. По пути пучка частиц располагается мощная неуклюжая туша электромагнита. Собранные в пучок частицы после прохождения через магнит снова распускаются веером.

Пучок неоднороден. В нем летят не только разные частицы, а и одинаковые частицы, но с разными скоростями. Прежде чем они попадут в прибор, физики должны отделить их друг от друга. Это делает магнит. Положительные и отрицательные частицы он сбивает в разные стороны от направления полета. Нейтральные же частицы и фотоны продолжают лететь в прежнем направлении. Но это еще не все. Тяжелые и быстрые частицы с большим количеством движения, или импульсом, боковой ветер магнита сбивает с пути слабее, чем медленные и легкие. Внешне это чем-то напоминает разложение белого света в цветную полосу спектра при пропускании его через стеклянную призму.

Такой спектр частиц каждого знака заряда и дает магнит.

Спектр импульсов, как говорят физики.

Теперь нужна вторая сортировка. Импульс, как известно, есть произведение массы частицы на ее скорость. Эту величину можно составить по-разному. Например, грубо говоря, одним и тем же импульсом будут обладать как протон, так и положительный пимезон, летящий в семь раз быстрее протона, и положительный камезон, движущийся вдвое быстрее того же протона. И все они по выходе из магнита полетят в одном направлении.

Понятно, что магнит уже исчерпал свои возможности. Разные частицы, но с одинаковым импульсом, он рассортировать уже не может.

Вот на металлической штанге сидят две или три коробки. Это счетчики. А комбинация их называется уже знакомым вам словом — телескоп. Он просто выделяет частицы, летящие в данном направлении, из довольно-таки густого потока прочих частиц. Мы вспоминаем, что частица засчитывается, если практически мгновенно прошла через все счетчики телескопа.

Но теперь счет времени начинает вестись именно на эти мгновения. Путь между счетчиками известен. Скорость — из примерного знания энергии и импульса частиц — тоже. А затем по простенькой формуле подсчитывается и время пролета искомых частиц в телескопе. При тех гигантских, околосветовых скоростях, которыми обладают частицы, это время ничтожно — миллиардные доли секунды.

Счет неуловимым мгновениям может вести только совершенная электроника. И она исправно ведет его. Частица засчитывается только в том случае, если через второй счетчик она пролетела с определенным запозданием после первого счетчика.

Вот и все. Сколько бы разных частиц с одинаковым импульсом ни пролетало через счетчики, электроника замечает лишь частицы с определенной скоростью, иными словами — с заранее назначенной массой.

Этот остроумный метод сортировки получил название метода запаздывающих совпадений. Теперь, сколько бы, например, пимезонов ни летело сквозь счетчики, они отворят «ворота» — допустим, камеры Вильсона — только, скажем, ка-мезонам.

В результате капкан не будет захлопываться без толку от каждого зайца. И будет ловить одних лишь волков. А это очень важно: ка-«волк» попадается куда реже, а потому ценится физиками гораздо дороже, чем пи-«заяц».

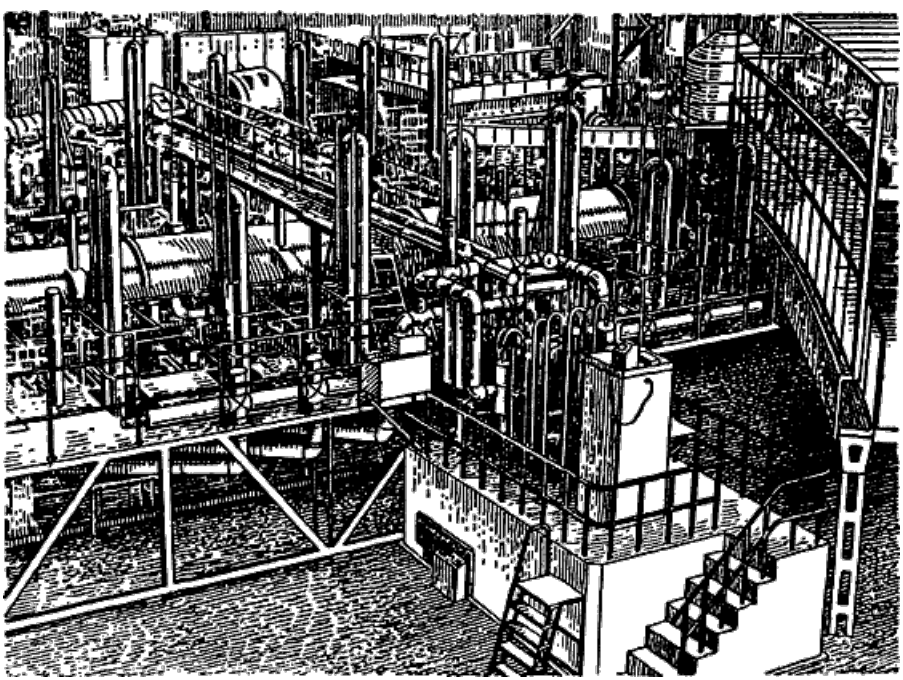
Сортировку разных частиц с одинаковыми импульсами можно произвести и по-другому, не вмешивая в это дело измерительные приборы. В густом потоке частиц они, случается, тоже ошибаются. Особенно если нужно вычесать из обильного потока знакомых частиц случайно затесавшиеся в него менее

знакомые.

Теперь в ход идет электрическое поле. Оно ведь тоже сбивает частицы, но уже в зависимости от их скорости и массы порознь. Электрическое поле не то, что магнитное: его уже одинаковым импульсом не обманешь. И вот сбивает электрический ветер легкие и быстрые частицы сильнее, чем более тяжелые и медленные.

Но электрический ветер — и мы это уже знаем — при доступных напряженностях поля гораздо слабее магнитного ветра. Поэтому приходится действовать этим ветром на частицы дольше. Магнит уже на одном метре сильно собьет частицы в сторону. Электрическому ветру для этого нужен уже добрый десяток метров.

Такие установки физики назвали сепараторами. Они действительно отделяют «сливки» редких частиц от «молока» сотен обычных. Но очень уж велики они! Нельзя ли сделать поменьше?



Электромагнитный сепаратор частиц. Внутри длинной трубы сильное электрическое поле разделяет частицы одного знака заряда и одного импульса по массам — что-то вроде электрической призмы. Скорость разделяемых частиц столь велика, что даже при сильном электрическом поле приходится из-за малого отклонения

частиц в стороны делать очень длинную трубу.

Можно, говорит Владимир Иосифович Векслер. Но для этого надо взять быстропеременное электрическое поле. Ускоритель выбрасывает вторичные частицы сгустками. Магнит сортирует их по импульсам.

И если в рассортированном потоке летят частицы, скажем, с двумя различными массами, то они создадут два сгустка. Можно так подобрать частоту электрического поля, чтобы оно пролетевший первым сгусток более легких частиц отклонило, например, вправо. А к моменту прилета сгустка тяжелых частиц поменяло бы свое направление и отклонило этот сгусток влево.

Вот и все. Теперь оба сгустка частиц разделены не хуже, чем положительные и отрицательные частицы после прохождения магнита!

Арсенал пополняется

Снимем одну из черных коробок на штанге телескопа. Вы ожидаете увидеть стеклянную ампулу счетчика Гейгера. Ничего подобного — перед вами блестит какой-то крупный кристалл.

Да, счетчик Гейгера в физике высокоэнергичных частиц сегодня скромно отходит в сторону. Чем быстрее летят частицы, тем активнее они разрушают ядерные семьи, но тем меньше у них остается времени, чтобы обращать внимание на электронные шкуры атомов. Что там мелкая электронная дичь по сравнению с заманчивой ядерной добычей!

Результат нетрудно предвидеть — ионизация падает. То один, то другой энергичный зверь проскочил бесследно через счетчик. Это неприятно. Физики не желают упустить ни одной интересной частицы.

На смену счетчику приходит кристалл. В нем атомы упакованы гораздо более плотно, чем в газе счетчика. А значит, и вероятность ионизации будет больше. Быстрые частицы вызывают в кристалле вспышки света — те самые вспышки, которые некогда до рези в глазах считал «белый раб» Резерфорда — Ганс Гейгер. И которые заставили его в конце концов «восстать» и придумать счетчик.

Заглянув в этот зал, Гейгер остался бы доволен. Человеческий глаз заменила работающая без устали электроника. Попробуйте снять кристалл — это вам не удастся. Он приклеен к трубочке,

похожей на флейту. Это фотоумножитель: он превращает слабенькую вспышку света в сильный импульс электрического тока. Импульс тока по тоненькому проводу уходит под пол в большой светлый зал — царство электроники, где засчитывается приборами.

А вот и другие счетчики — черенковские. Когда Эйнштейн установил, что ни одна вещественная частица, ни одно тело не могут двигаться со скоростью не только большей, но и равной скорости света, то он под скоростью света понимал скорость в совершенно пустом пространстве. А в стекле, например? В стекле свет распространяется почти в полтора раза медленнее. И что же, частицы в стекле не могут превысить скорость света?

Над этим никто не задумывался — нужды не было. И долго не было бы этой нужды, если бы в 1934 году молодой советский ученый Павел Александрович Черенков не обратил внимания на слабое свечение. Оно возникало в обыкновенной воде всякий раз, когда в нее влетала быстрая заряженная частица.

Под действием медленных частиц вода не светилась. Так что новое свечение не могло иметь такую же природу, как и то, над которым «мучился» Гейгер.

Черенков рассказал о неожиданной находке своему учителю Сергею Ивановичу Вавилову. Тот поделился известием с теоретиками Игорем Евгеньевичем Таммом и Ильей Михайловичем Франком. И в результате долгих дискуссий через три года в закон Эйнштейна было внесено «уточнение», а в физику — новое явление.

Есть в физике смешно звучащее понятие: «усы Маха». Это действительно усы, но не на лице известного ученого, а, например, на воде. Они расходятся от носа катера, спешащего по реке. Их легко видеть перед носом сверхзвукового самолета.

Причина их появления одна и та же: скорость движения катера превосходит скорость волн на поверхности воды, скорость полета самолета превышает скорость звуковых волн в воздухе. Именно такие «усы» и узрели наши ученые в свечении, обнаруженном Черенковым. Только не водяные, не воздушные, а световые.

Ну что ж, интересное явление, молвили физики и почти забыли о нем. Но, когда физика обратилась к сверхбыстрым частицам, об этом явлении пришлось вспомнить. Оно идеально подходило для регистрации таких частиц.

Для счетчиков Гейгера надо тщательно подбирать и очищать газ. Вспышки света дает не любой кристалл. Черенковский же свет наблюдается в любом веществе, лишь бы оно было прозрачным. И еще одно приятное обстоятельство — порог: если

скорость частицы меньше этого порога, то свечения нет. Значит, такой счетчик сразу отсеет частицы, скорость которых меньше скорости света в его веществе. Подбирая ряд разных веществ, можно получить набор таких порогов. Это очень удобно.

И, как запоздалое признание огромной важности этого открытия для физики частиц, Черенкову, Тамму и Франку (Вавилов к тому времени умер) в 1960 году была присуждена Нобелевская премия.

Ученый тем временем подводит нас к новому прибору. От прибора тянутся толстые шланги под пол, местами на его металлической поверхности виден иней. Низкие температуры? Ученый согласно кивает головой и добавляет: минус двести пятьдесят градусов.

Солидно! Что же там замораживают? Водород.

Предупреждая дальнейшие вопросы, ученый начинает пояснение. Камеру Вильсона помните? Помним: там был пересыщенный «неустойчивый» пар. Ну, а здесь такая же «неустойчивая» перегретая жидкость. Чуть-чуть сдвинь температуру или понизь давление, и она бурно закипит.

Но режим подобран так, что жидкость не кипит. Если идеально очистить стенки колбы и налить в нее дистиллированную воду, то, может быть, она не закипит и при 150 градусах. Просто в ней не могут образоваться пузырьки пара.

Вот такая жидкость и здесь в камере — жидкий перегретый водород. Он кипит уже при –253° по Цельсию, оттого и нужна низкая температура.

Но вот в камеру влетела энергичная частица, и путь ее сразу отмечен цепочкой возникших пузырьков пара в прозрачной жидкости. Теперь фотографируйте, но быстро! Пузырьки пара, как и капельки жидкости в камере Вильсона, живо расползаются.

Изобрел такую камеру американский физик, сын выходцев из России, Дональд Глэзер.

Вильсон придумал свою «туманную» камеру, наблюдая за красивым зрелищем рождения облаков в горах. Глэзер же, как говорят его друзья, додумался до пузырьковой камеры, наблюдая рост пузырьков газа на неровностях стенок пивной бутылки! Самые обыденные явления, замечавшиеся тысячи раз, дают наблюдательному уму пищу для раздумий.

Все? Нет, еще вопрос. А в чем преимущества пузырьковой камеры Глэзера перед «туманной» камерой Вильсона?

Жидкость имеет более высокую плотность по сравнению с паром в камере Вильсона, значит, и событий в пузырьковой камере случается и регистрируется гораздо больше. Кроме того, еще очень удобно, что столкновения частиц можно изучать на

самых простых ядрах — ядрах водорода.

А вот еще один прибор. В нем не надо пользоваться лампой-вспышкой: след частицы сам освещает себя. Это искровая камера. Внутренность ее похожа на трюм корабля: толстые металлические перегородки разбивают ее на отсеки.

Эти перегородки — одновременно электроды: на них через один подано высокое напряжение. Влетела в камеру частица, ионизировала на своем пути газ — и мгновенно следует пробой: за частицей вдоль следа проскакивает крошечная молния.

Яркости ее, однако, вполне достаточно для фотографирования. И очень удобно: никакой возни с пересыщенным паром или перегретой жидкостью (а возни здесь немало, пока подберешь нужный режим). След же получается ничуть не хуже.

«Пожалуй, на этом можно закончить экскурсию, — заявляет ученый, глядя на наши уставшие лица. — Идите-ка отдохните, а я тем временем подберу вам парочку интересных фотографий. Посмотрите, проснется любопытство, — и тогда отправитесь к теоретикам…»

Шифр следов

Богатый арсенал оружия сегодня у охотников за частицами! И с каждым годом становится все богаче. Увидеть новый неизведанный след, затаив дыхание пройтись по нему — какая охота может быть более захватывающей?

Новые ускорители с лихвой оправдали возлагавшиеся на них надежды. Из красного латунного «шва» на боку ускорительной камеры пи-мезоны вырывались ежесекундно многими сотнями. В глубинах крошечной экспериментальной мишени бурно разыгрывались события, свидетелями которых до тех пор были лишь пустынные глубины космоса.

Внешне этапы земной работы выглядят немного прозаично. Отснята кассета с пленкой на пузырьковой камере. Приходит лаборант, снимает кассету, вставляет новую и уносит отснятую пленку в фотолабораторию. Там ее проявляют — бережно, тщательно, в условиях, которым позавидовал бы любой фотограф. Пленка не должна иметь ни одной царапины, на ней не должно быть заметной усадки! Картина события должна быть запечатлена во всей своей первозданности.

Но завидовать все же не стоит. Съемка велась вслепую, и до

поры до времени никто не знает, что получилось на пленке. Камера может работать месяцами, а на пленке не окажется ни одного нового, интересного события.

После обработки в фотолаборатории пленка попадает в просмотровый зал. Просмотр таких пленок и поныне сопряжен с адским трудом. Приходится долгие часы сидеть, склонившись над микроскопом. Постоянные опасения, чтобы не сбить пленку, — тогда кадр приходится просматривать опять сначала. Но все же сегодня в просмотровом зале можно услышать и шутку, и веселый смех. Узенький зрачок микроскопа уступает место большому проекционному экрану. Работать становится много легче.

Но работа от этого не стала короче. Иногда приходится просмотреть десятки километров пленки, сотни тысяч кадров, чтобы натолкнуться на действительно интересное событие.

Мелькают надоевшие тонкие спиральки «заячьих» следов электронов, выбитых из атомов энергичными частицами и гамма-фотонами. Бегут прямые цепочки «волчьих» следов тяжелых частиц, пересекающих в разных направлениях поле зрения, — действительно, как следы волков на бескрайнем снежном поле. На экран вдруг вплывает звезда: волк натолкнулся на мирно обедающее семейство миролюбивых зверей и вспугнул его. Из похожей на кляксу звезды веером в разные стороны летят брызги протонов и мезонов из разрушенного при мощном столкновении ядра.

Попадаются иногда и резко обрывающиеся, и сломанные следы.

Стоп! Теперь начинается самый тщательный просмотр.

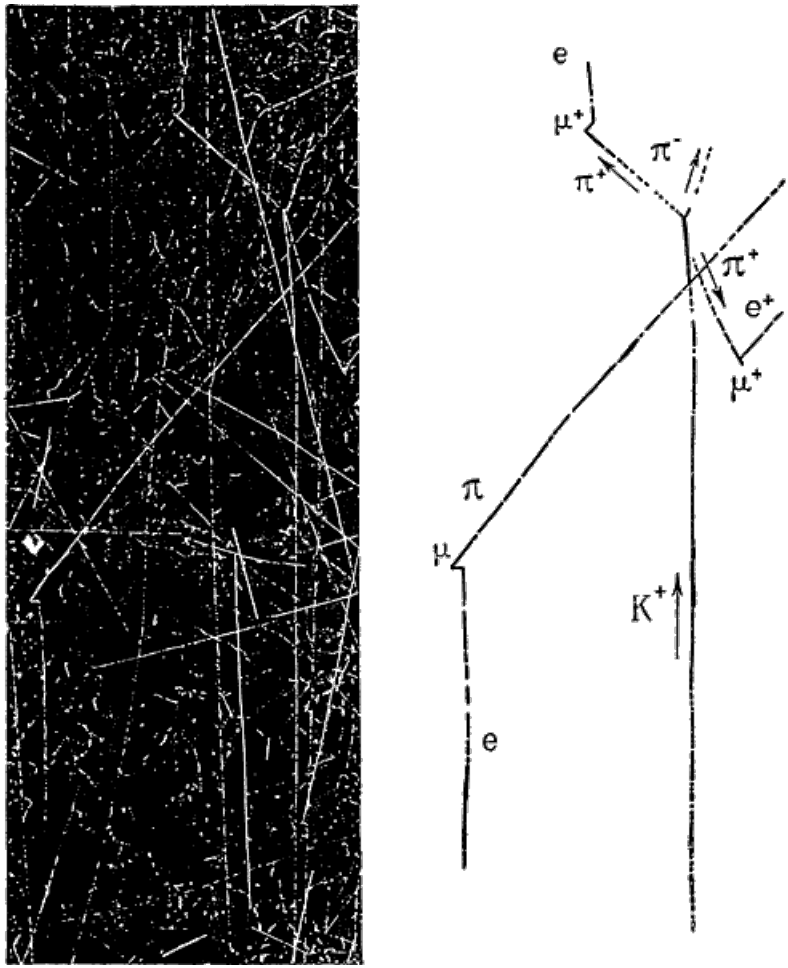
Измеряется шаг зверя — плотность зерен в следе до и после излома или перерыва. По масштабу на экране отсчитывают, сколько капелек или пузырьков укладывается, скажем, на сантиметре следа. Отсюда узнают, как энергично драл зверь шкуры на своем пути, а из этого — какова была энергия его движения.

Очень аккуратно измеряется угол излома следа, углы между зубьями вилок. По ним можно судить, насколько изменился импульс частицы, какие импульсы имеют новые частицы.

Затем внимательнейшим образом исследуются ближайшие окрестности излома. Не появятся ли там новые следы — одиночные ли, парные ли в виде вилок, тройные? Окрестности места излома или перерыва следа часто имеют решающее значение!

Наметанный глаз наблюдателя — позади уже не одна сотня пленок! — сразу обратит внимание на необычное событие. Но в чем его необычность — укажет лишь точный расчет. Новое

событие, а иногда, к великой радости, и новая частица — они откроются только на кончике пера после хитроумной расшифровки следов.



Фотография распада ка-плюс-мезона, сделанная в пузырьковой камере, наполненной жидким водородом. Подробности расшифровки этого снимка описаны в тексте.

А вот и ученый показывает нам обещанную фотографию. На ней действительно множество всякого зверья оставило свои следы. На какие обратить внимание? Что интересного на снимке?

Сделаем первый отсев: отбросим все пунктирные следы, принадлежащие электронам. В большинстве опытов подобного рода они не представляют интереса.

Следы, не имеющие на снимке ни обрывов, ни изломов, также

не задерживают внимания. Звери, оставившие эти следы, пронеслись через камеру, не испытав в ней никаких столкновений с ядрами, никаких распадов. Это второй отсев.

Теперь осталось не так уж много следов, достойных внимания. В первую очередь, конечно, след, идущий почти параллельно правому обрезу снимка. След толстый, почти сплошной — значит, его оставила довольно тяжелая частица.

Протон? Нет: наверху след ломается и превращается сразу в три. Может быть, протон влетел в ядро и, разрушив его, образовал звезду? Нет, звезда выглядит иначе. И, кроме того, камера была наполнена водородом, а он звезд не дает: в ядре водорода один лишь протон.

Значит, собственный распад частицы. Но это не протон: он не распадается в свободном полете на другие частицы.

Следующее слово говорит промер жирности следа. Связав его со скоростью частицы (она раньше прошла через магнит, так что импульс ее известен), физики заключают, что она легче протона.

Круг суживается. Остается пи-плюс-мезон. Но это и не он. Накопленный за несколько лет опыт говорит о том, что на три частицы пи-мезон почти никогда не распадается.

Кстати, это можно видеть на том же снимке. Пи-мезону принадлежит косой след, идущий через весь снимок вниз из его правого угла.

Видите? След сломался, рыскнул в сторону, а от него уже вниз побежал пунктир. Так заряженный пи-мезон распадается почти всегда. Первый излом: пи-мезон распался на мю-мезон. А тот, прожив ничтожную долю секунды, сам на лету распался на электрон.

Итак, справа у нас распался не пи-мезон. Тогда что же? Выходит, совершенно новая, дотоле не известная частица? Да, это так.

Но справедливости ради, замечает ученый, надо сказать, что к тому времени, когда был сделан этот снимок, новую частицу уже знали. Ее открыли Батлер и Рочестер. Это — положительный ка-мезон, примерно в три с половиной раза тяжелее пи-мезона.

И распадается он на этом снимке на три пи-мезона: два положительных и один отрицательный. Теперь вы поймете, как важно изучать окрестности интересного события.

Проследите за полетом частицы, пошедшей из места распада влево кверху. Видите излом ее следа? Достаточно сравнить его с изломом следа пи-мезона, которых любезная природа подсунула нам на том же снимке, — и частица определена.

А как быть с массой ка-мезона? Из трех с половиной пи-мезонных масс природа в этом распаде вылепила только три пи-

мезона. «Режим экономии»? — его природа не ведает. «Полмассы» пи-мезона пошло в соответствии с законом Эйнштейна на энергию полета разлетевшихся потомков ка-мезона. Богатое наследство оставил им щедрый родитель!

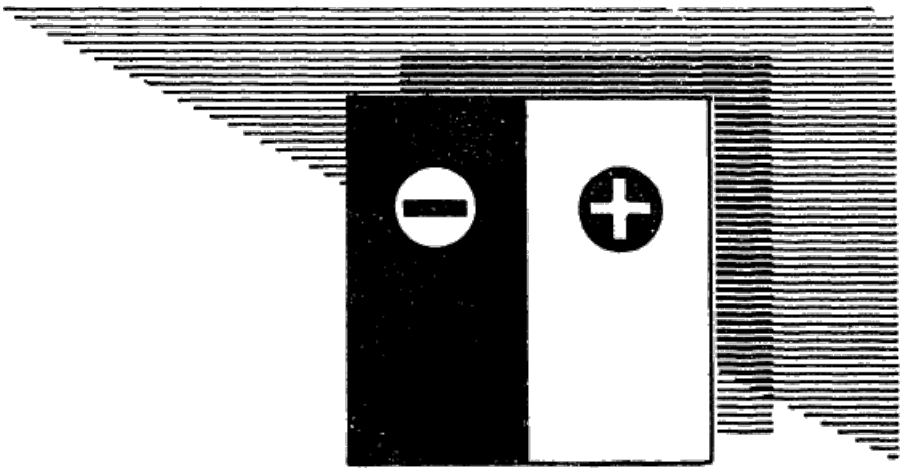
Замерили углы между следами пи-мезонов и нашли их импульсы, а по ним и суммарную энергию. Предположили — и не без оснований, — что наследство разделено справедливо, поровну между наследниками. Прибавили его к трем массам наследников, и оказалось, что ка-плюс-мезон «тянет» примерно на 965 электронных масс.

На этом, пожалуй, пора закончить нашу экскурсию. Мы только слегка приподняли занавес над той кропотливой и сложной работой, которую ведут физики уже в течение многих лет в десятках лабораторий, разбросанных по всему земному шару.

Обычно годы, богатые открытиями, сменяются на вид бедными годами, когда накопленные факты перевариваются в головах физиков, когда зреют новые идеи и замыслы, которым предстоит вызвать к жизни новые открытия.

Мы прервали свой рассказ на начале пятидесятых годов нашего века. Впереди нас ждет много интересного: начинается новый штурм мира мельчайших частиц материи. Что принесет он науке?

Глава 8
Пророчества сбываются



Окно в антимир

Вопреки довольно распространенному мнению, физики далеко не педанты. Охотники за частицами — в этом смысле не исключение. Они знают, что удивительную жизнь мира сверхмалых вещей не всегда удается уложить в заранее уготованные рамки. Требуя скрупулезной точности опытов и теоретических доказательств друг от друга, они вместе с тем легко мирятся с таким положением, когда теория создана, а «заложенная» в ее основу частица годами никак не ловится.

Не ловится? Тем хуже для частицы, тем скорее она будет поймана! Но почему они убеждены в этом? Ответ физиков может показаться вам несколько туманным: «Есть общие физические соображения…»

Попросим расшифровать их эти «смутные» слова. Вот, например, пи-мезон. Педант поступил бы так: он не поверил бы в теорию ядерных сил Юкавы, пока не был обнаружен пи-мезон. Нет частицы, и не о чем разговаривать. Но это был бы узколобый подход.

Теорию можно проверять и умнее. Есть ведь и другие явления, которые она позволяет рассчитать. Если бы всякая

физическая теория объясняла лишь одно-единственное явление, то на свете не хватило бы теоретиков!

Теория тем и хороша, что охватывает целый круг разных явлений. И чем шире этот круг, тем ценнее теория. А для таких изумительно широких теорий, как, например, теория относительности или квантовая механика, у физиков вообще нет слов, чтобы определить их ценность.

Но вернемся к пи-мезону. Основанная на нем теория позволила объяснить и ядерные реакции, и деление ядра, и даже точно рассчитать атомную бомбу и ядерный реактор. Тут уже теорию ждет наивысшая похвала: ее подтверждает практика! Теперь она завоевывает даже самые недоверчивые умы.

Нет пи-мезона? Не беда: никто уже не сомневается, что он будет рано или поздно обнаружен. Он не может не появиться! И действительно, появляется.

Так следователь, непоколебимо уверенный в своих выводах на основании «общих юридических соображений», движется к раскрытию преступления. И наградой ему служат неопровержимые улики, которые словно чудом появляются в последний день следствия.

В начале пятидесятых годов физики приступают к поимке антипротона. Какие у них основания искать эту частицу? Да самые общие!

Мы помним, что за двадцать с лишним лет до этого Дирак вывел свое известное уравнение. И после длительных раздумий заключил, что одна пара его решений должна описывать частицу, а другая пара — ее античастицу.

Не прошло и четырех лет, как скептикам, не принявшим теорию Дирака, был нанесен сильный удар. В космических лучах был открыт антиэлектрон. Он вошел в физику под именем позитрона.

Но уравнение Дирака универсально. Оно применимо в принципе ко всем частицам. Значит, у каждой частицы должен быть свой зеркальный двойник — античастица.

В последующие годы природа подтверждает это «общее соображение». В космических лучах открываются еще две зеркальные пары — мю-минус и мю-плюс, пи-минус и пи-плюс.

И в конце сороковых годов уже не остается, пожалуй, ни одного физика, который бы не разделял убеждения, что у каждой частицы обязательно должна быть своя античастица. А открытие ее — дело времени. Чтобы приблизить это время, в США начинают проектировать большой ускоритель протонов на энергию шесть миллиардов электрон-вольт.

Эта цифра выбирается не случайно. Точный расчет

показывает, что именно такую энергию должен иметь бомбардирующий протон, чтобы он мог, ударив о протон в мишени, «родить» антипротон. Что-то слишком много? — можно задать законный вопрос. В самом деле, на «извлечение» антипротона из переполненной дираковской пустоты нужно затратить энергию около одного миллиарда электрон-вольт.

И все же для дела нужно шесть миллиардов, а не один. Антипротон рождается не в одиночку: вместе с ним должен появиться на свет и протон (помните, и позитрон рождался лишь в паре с электроном). Итак, уже не один, а два миллиарда. Дальше: наш разогнанный протон ударяет по протону, сидящему в мишени. Таким образом, в игре участвует не одна, а четыре частицы — два «родителя» и два «новорожденных».

Расчет же показывает, что процесс рождения антипротона будет протекать на редкость беспокойно: сразу же после него родители и новорожденные должны разлететься в разные стороны с гигантской энергией — примерно по одному миллиарду электрон-вольт на каждого. Вот и арифметика: два миллиарда на рождение и по миллиарду на всех четырех частиц — в итоге шесть миллиардов электрон-вольт.

Да, довольно дорогостоящее событие! Что ж, оно стоит того. За сорок лет изучения космических лучей какие только не наблюдались события! А это ни разу не попалось на глаза физикам.

Встреча важного гостя

В 1954 году огромный ускоритель заработал. Теперь предстояло ставить решающий опыт по поимке антипротона.

Этим делом занялись шесть человек. Руководил ими уже знакомый нам Эмилио Сегре — давний сподвижник Энрико Ферми по опытам с нейтронами. Свободолюбивый итальянец, как и Ферми, не смог ужиться с режимом Муссолини и вслед за Ферми в поисках пристанища переселился в США.

В те годы еще во многих ученых жила иллюзия, что США — «царство свободы». Не много же лет понадобилось, чтобы развеять эту иллюзию! Уже взрыв американских атомных бомб в 1945 году, безо всякой в том военной необходимости, ясно показал здравомыслящим людям, что США не меньше оснований называть «царством страха».

Сегре мог с усмешкой думать, что свобода — это тот же

антипротон. В принципе существует, а поди-ка отыщи!

Расчет заставлял предполагать, что один антипротон в пучке их частиц, летящих от ускорителя, должен попадаться на десятки тысяч пи-мезонов. Недурная пропорция! Уже одна она ясно показывала, что опыт по поимке «льва»-антипротона в огромной стае «волков»-мезонов будет трудным и тяжелым.

В первую очередь, как и полагалось, на пути пучка частиц был установлен сильный электромагнит. Он отделил все положительные от всех отрицательно заряженных частиц (антипротоны имеют отрицательный знак заряда). Теперь с антипротоном летели только отрицательные пи-мезоны, имеющие тот же импульс. Вся стая частиц направлялась в трубу, обложенную «подушками», — мы ее уже видели: эта труба выстраивает частицы в стае хвост к хвосту.

Сразу же за бойницей, прорубленной в толстой бетонной стене, гостей встречал первый швейцар. Вспышка света рождала импульс тока в фотоумножителе — гости прибыли. Ровно через 12 метров такой же поклон гостям отдавал второй швейцар. Срабатывала электроника, установленная на то запоздание между «поклонами», какого ожидали по импульсу главного гостя. Навстречу выходил хозяин.

Увы, как правило, выходил напрасно. Гость появлялся в окружении столь многочисленной свиты, что даже зоркие швейцары путались и отдавали поклоны ей, а не главному гостю. Поклоны были зряшными, и хозяин решил усилить штат швейцаров.

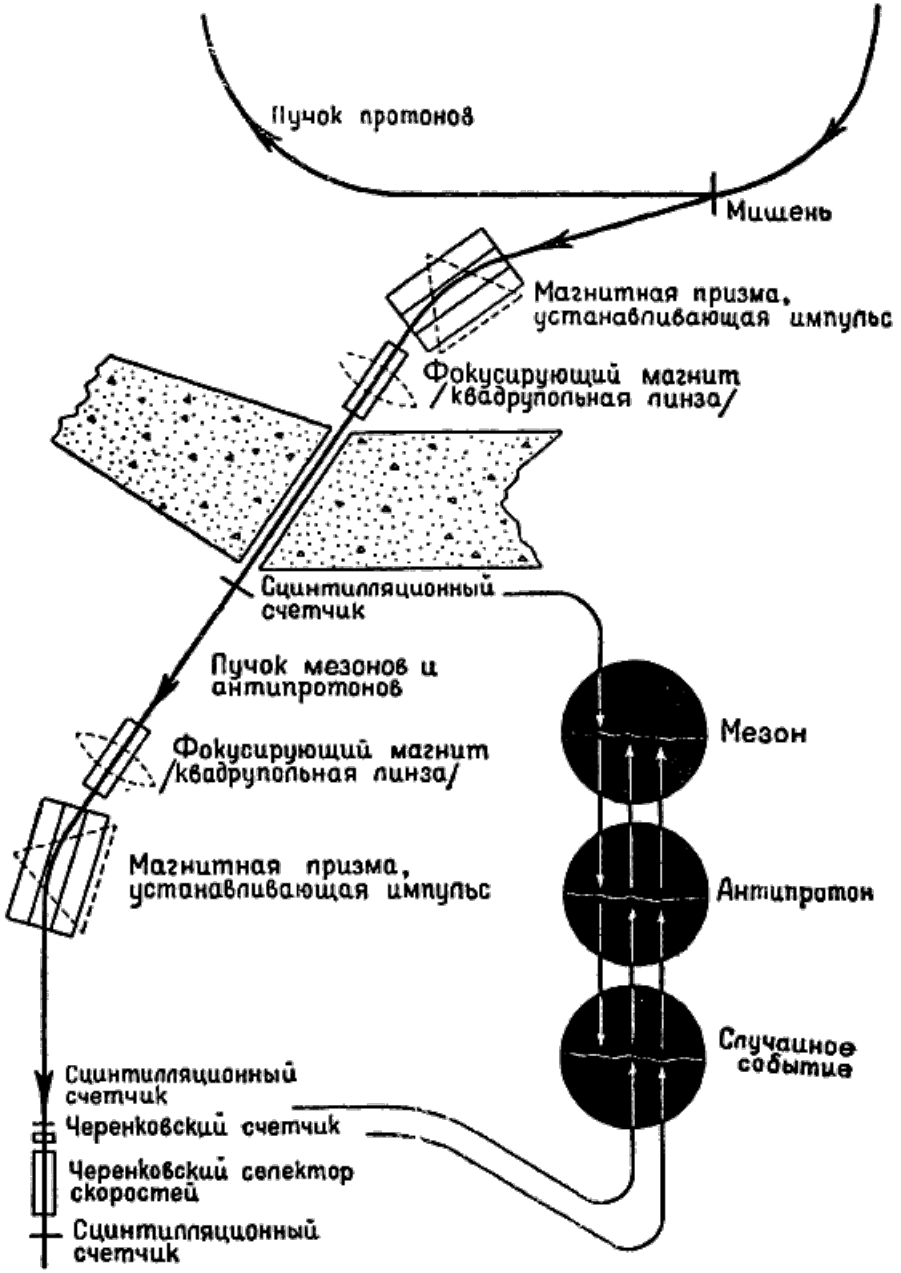


Схема установки группы Сегре, на которой были «пойманы» антипротоны. Справа — изображения на экране осциллографа, связанного со счетчиками, в различных стадиях опыта.

Так в доме появились новые стражи. Их поклоны отличались гораздо большей разборчивостью. Они отмечали лишь таких гостей, которые следовали мимо них со скоростью не меньше

75 % и не больше 78 % от скорости света. Вы уже догадываетесь, что швейцарская пополнилась черенковскими счетчиками. Об их поклонах в виде голубоватых вспышек света мы уже рассказывали в предыдущей главе.

И это было еще не все. Отдельный черенковский швейцар давал сигнал, когда мимо него проносился гость со скоростью больше 78 % от скорости света. Этот сигнал шел всем остальным швейцарам и означал: «Не кланяться! Бежит свитский!»

В самом дальнем углу коридора, по которому следовали гости, дежурил еще один швейцар. Он следил за тем, чтобы в дом никто не мог проникнуть с черного хода. В данном случае — из потока космических лучей.

Наконец, за сортирующим магнитом устанавливался сепаратор антипротонов. Его целью было хоть немного разредить свиту, чтобы облегчить работу швейцаров.

Вот какие предосторожности пришлось принять физикам, чтобы вычесать антипротон из его разношерстной свиты. В основном в ней, как уже говорилось, присутствовали пи-мезоны. Они проскакивали 12-метровый коридор со скоростью лишь на 1 % меньше скорости света, за 40 миллиардных долей секунды.

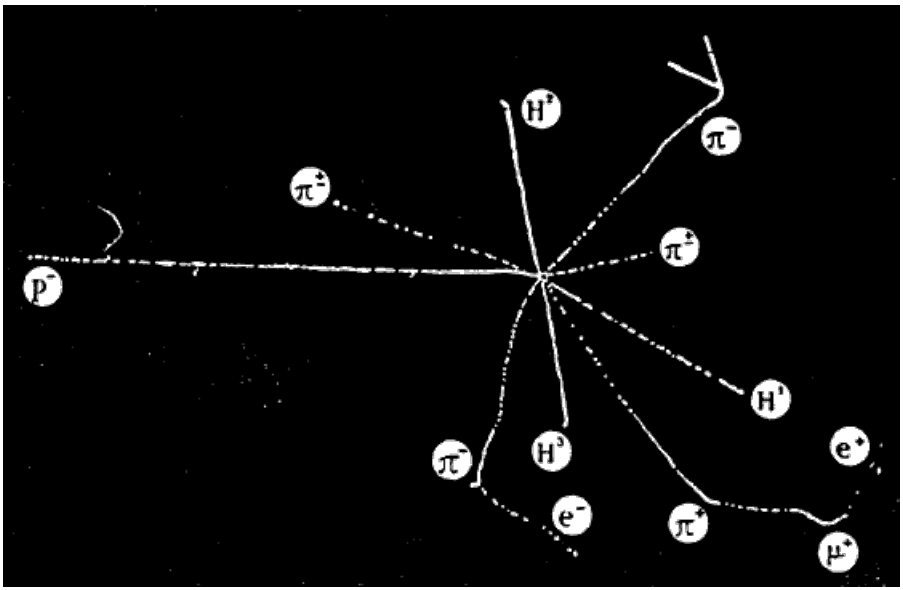
Главный гость двигался солиднее, но тоже очень быстро — всего лишь на 24 % медленнее света. Коридор, по концам которого стояли черенковские счетчики, он проходил за 51 миллиардную долю секунды. Именно на это опоздание и была установлена электронная схема телескопа счетчиков.

Как только она срабатывала, на экране специального прибора — осциллографа, — установленного перед наблюдателем, возникал «всплеск». Прошел антипротон! Второй антипротон — снова «всплеск»! И только теперь физики воочию убедились в справедливости всех этих предосторожностей. Главный гость действительно оказался очень редким посетителем.

Из огромного ускорителя, который выбрасывал сгустки во много миллиардов протонов, появлялось в среднем всего лишь четыре антипротона в час! За несколько недель работы, когда группа Сегре, наконец, решилась после строгой проверки опубликовать свои результаты, она имела в своем распоряжении лишь 60 случаев несомненного появления антипротона.

Полдела было сделано. Физики убедились в существовании антипротона. Теперь хотелось бы увидеть его воочию. Ну, разумеется, не сам антипротон, а оставленный им след. В коридоре, по которому изредка следовал гость, установили толстый блок фотографической эмульсии. После многодневной выдержки на работающем ускорителе ее проявили и отправили в Рим, где сидели великие искусники по просмотру следов.

И что же, в эмульсии удалось обнаружить почти двадцать явных следов антипротонов. Вот один из них. Пришел он слева (именно по возросшей плотности ионизации физики заключили, что частица пришла слева[2]). Раздавая «автографы» в виде содранных шкур встречным атомам, антипротон, наконец, устал и остановился. Но отдохнуть ему не пришлось: его тут же, в зерне эмульсии, проглотило некое ядро.



Фотография аннигиляции антипротона с протоном. Летящий слева антипротон захватывается ядром фотоэмульсии. В результате взрыва ядра образуется «звезда» из пи-мезонов и протонов. Пи-мезонам отвечают тонкие, протонам — жирные следы. Видны также последующие распады пи-мезонов на мю-мезоны и электроны.

Результат налицо. Захваченный в ядро антипротон тут же слился с одним из ядерных протонов — аннигилировал. И выделившаяся при этом колоссальная энергия (те самые два миллиарда электрон-вольт) разнесла ядро в «мелкие дребезги». Эти «дребезги» прекрасно видны на фотографии.

Одна античастица приводит с собой другую

В основном «дребезги» состоят из пи-мезонов. Вы не ожидали?

Вам казалось, что антипротон и протон при встрече должны вести себя подобно другой братской паре — позитрону и электрону? Иными словами, они должны были превратиться в пару или тройку фотонов.

Но разумная природа поступила иначе. Она превращает частицу и ее античастицу при их аннигиляции в кванты именно «их», а не «чужих» полей. Квантами поля, «своего», электронам и позитронам действительно служат фотоны.

Для ядерного поля, как мы знаем, такими квантами являются пи-мезоны. Иначе, смотришь — один протон исчез со своим зеркальным братом, потом другой, третий, оставив лишь фотоны.

Редко это могло бы происходить? А что такое «редко» для вечной и бесконечной Вселенной? Один миг! Между тем мы что-то не замечаем, чтобы протоны потихоньку исчезали из нашего мира. Природа как будто поддерживает некое равновесие между числом протонов и электронов в мире. Электрон может превратиться вместе с позитроном в кванты электромагнитного поля — фотоны. Но в другое время фотоны могут превратиться обратно в пару этих частиц.

Но протона с антипротоном из них уже нельзя состряпать. Это дело пи-мезонов.

Разумеется, протонный и электронный миры природа не разгородила стеной. Те же пи-мезоны, распадаясь, в конечном счете превращаются в электроны. Зато в другом месте и в другое время другие, более энергичные пи-мезоны будут рождать вполне реальные пары из протонов и антипротонов.

Об этом превращении частиц вещества в кванты поля и обратно, квантов поля в частицы вещества мы уже вкратце упоминали в главе о позитроне. Однако серьезный разговор об этом отложим до следующей главы.

До сих пор мы почти обошли молчанием, так сказать, «тылы» отряда охотников за частицами. Эти тылы — повара-теоретики. На них возложено почетное задание: состряпать из охотничьих трофеев наиболее вкусное блюдо современной физики — единую теорию всех частиц. Сегодня кухня работает полным ходом.

Можно, конечно, подобно нетерпеливой хозяйке, совать поминутно нос на эту кухню, тревожа поваров. Можно и запастись терпением, чтобы узреть готовое блюдо. Однако блюдо готовится очень медленно. Мы выбираем не то и не другое: в следующей главе придем и прочно засядем на кухне теоретиков, с робкой надеждой постичь тайны искусства поваров.

А пока что вернемся к антипротону. Он пришел к физикам не

один. Он привел за собой еще одну античастицу. Она была открыта год спустя, и физики поняли, что это антинейтрон.

Поняли сразу, потому что предвидели коварство антипротона. Из «жаркой» встречи зеркальных братьев могли родиться не только «дребезги» пи-мезонов. Братья могли и не повредить друг друга. Если можно так выразиться, они при этом лишь сняли свои шляпы — электрические заряды.

Заряд протона погасил заряд антипротона, и на свет появились две нейтральные частицы с почти теми же массами, что у исходных частиц. Нейтрон и антинейтрон!

А эта пара аннигилирует уже привычным образом: от их «тел» остаются лишь «дребезги» пи-мезонов. Образование такой пары — событие совсем уж редкое. Давно уже Сегре и его сотрудники улучшили производительность своей машины до десятка антипротонов в минуту, а антинейтроны все еще появлялись буквально поштучно.

На этом, пожалуй, пора закончить разговор о том, как сбылось предсказание почти двадцатипятилетней давности. Теперь речь пойдет еще об одном удивительном пророчестве. О частице, которую физики с полным основанием могли — и еще сегодня могут — считать рекордом неуловимости. О нейтрино.

Подарок на кончике пера

Альфа-излучение радиоактивных ядер с самого начала нашего века благодаря Резерфорду заняло прочное и важное место в арсенале физиков. Бета-излучением до поры до времени мало кто интересовался.

Просто еще один источник электронов! Причем никудышно слабенький даже в сравнении с тусклой электрической лампочкой, из нагретого волоска которой ежесекундно вырываются полчища электронов.

Очередь бета-распада наступила в начале тридцатых годов, когда к нему обратилась квантовая механика. За два года до того она разгрызла орешек альфа-распада ядер. Казалось, что и тайна бета-распада не устоит перед ее натиском.

Однако с самого начала квантовой механике пришлось столкнуться с двумя весьма неприятными для нее обстоятельствами. Вы помните — она лишила электроны пристанища в ядре? Между тем электроны нахально вылетали из ядер! Мало того, они вылетали из ядер с какой угодно энергией!

Вот этого квантовая механика уже никак не могла им простить! Электроны подкапывались под самые ее основы. Ядро, как показывал альфа-распад, — самый настоящий квантовый объект. Частицы в нем имеют ряд дозволенных энергий, наподобие атома. Об этом же свидетельствовали и ядерные гамма-лучи. Они состояли, подобно спектру атома, из ряда узеньких линий.

Спектр ядерных электронов не обнаруживал же и намека на линии! Выходило, что, с одной стороны, ядро — квантовая система частиц, а с другой — вовсе не квантовая. Этого физики не могли стерпеть.

Привыкшие к двуликости мира сверхмалых частиц, они, однако, не признавали такой его двуликости в одном — в энергии. Частица в данных условиях может иметь либо любую энергию, либо только ряд разрешенных ей энергий. Если она совершенно свободна, то ее энергия может быть любой. Если она связана в коллективе частиц, то ее энергия может иметь лишь набор разрешенных значений. Что-нибудь одно! Неважно, атом ли это, ядро или что-то другое: этот закон действителен для всех частиц.

Все это до сих пор говорило о том, что частицы в ядре могут иметь не любую энергию. А вот любая энергия электрона, появляющаяся из ядер, говорила об обратном. Что же, уступить электрону? Даже и не думайте!

У одних физиков это упорство доходило до безрассудства. Спор с электроном затягивался, и горячие головы пустили в ход незаконные аргументы.

Они покусились не много, не мало, как на сам закон сохранения энергии — на краеугольный камень всей физики. Мол, в виртуальных процессах этот закон вроде как бы не выполняется, а здесь, в бета-распаде, уже нарушается не виртуально, а наяву! Правда, эти физики затем быстро одумались.

Спор затянулся — надо его кончать. В 1933 году Энрико Ферми и независимо от него Вольфганг Паули сообщают о том, что победа в споре на их стороне.

Однако им верят далеко не все. Помните, статью Ферми о бета-распаде даже вернули автору? Снова — даже самые выдающиеся теории не сразу завоевывают мир физиков.

Теория Паули и Ферми одним махом разрешила оба неприятных вопроса бета-распада. Электроны летят из ядер, хотя им запрещено там находиться? Так их там и нет: они появляются лишь в тот миг, когда один из ядерных нейтронов превращается в протон, выбрасывая «из себя»… электрон! Оттого-то электроны и

вылетают из ядра, что не могут жить в нем. Так что в этом запрете на прописку права квантовая механика.

Электроны имеют любую энергию, хотя это им запрещено? Это означает лишь, что вместе с электроном из ядра вылетает, видимо, еще какая-то частица. По сумме энергий электрон и эта частица имеют уже не любое значение, а то, которое дозволяет квантовая механика.

Но распределить между собой унесенную из ядра энергию сообщники могут как им угодно. Это уже вне компетенции строгой квантовой теории. От этого «как угодно» и получается, что электроны имеют любую энергию.

Однако электрон виден всем, а его сообщник что-то незаметен. И этому Ферми и Паули дают объяснение. Во-первых, сообщник не имеет электрического заряда. Во-вторых, он имеет массу, ничтожную в сравнении даже с массой электрона.

Какая-то в миллионы раз более легкая копия нейтрона! И Ферми называет ее ласкательно: «маленький нейтрончик». По-итальянски это звучит: «нейтрино».

Новая частица родилась, но пока что на кончике пера теоретиков.

По невидимому следу

Как ее искать? Нейтрино не заряжено электрически — значит, ни в счетчиках, ни в камерах, ни в фотопластинках следов не оставляет. Нейтрон также «бесследен», но он хоть оставляет весьма зримые следы, вроде поврежденных ядер и даже, чего хуже, разрушенных до основания городов.

Нейтрино же — форменным образом дух бесплотный! Впрочем, первые косвенные «следы» его появления физики наблюдают уже в довоенные годы. Это изломы следов мю-мезонов. Мы уже говорили об этом не раз. И не раз у читателя мог встать вопрос: а почему, собственно, при распадах мю-мезонов след ломается? Разве не может мю-мезон отдать своему наследнику электрону всю энергию?

Оказывается, не может. Ведь, кроме энергии, у мезона еще есть импульс. Закон сохранения импульса — такой же суровый, как и закон сохранения энергии. А нагрузиться импульсом от в двести раз более тяжелой частицы — это электрону не под силу. Он тут же сбрасывает часть ноши, а ее услужливо подхватывают его сообщники — нейтрино. И здесь происходит дележ добычи!

И, как водится в таких случаях, сообщники разбегаются в разные стороны. Оттого электрон и бежит в сторону от пути своего родителя, оттого и ломается след. Такую же картину спустя несколько лет физики смогли наблюдать при распаде пи-мезонов на мю-мезоны. Здесь тоже присутствовал незримый сообщник в дележе энергии и импульса пи-мезона.

Теперь физики почти безоговорочно уверовали в существование нейтрино. Они, однако, убедились и в другом. Выполненные в те годы расчеты показали, что даже сам дух бесплотный должен выглядеть грубейшим зверем по сравнению с нейтрино!

Нейтрино — это почти непостижимое чудо деликатности. Он может пробежать всю видимую в телескопы Вселенную и не коснуться ни одной частицы! Что там — сквозь Землю! — нейтрино может не задеть ни одной частицы даже в чудовищно плотных недрах звезд.

Вот это да! Стоит ли даже и думать о поимке сверхнеуловимого нейтрино? Можно только поражаться смелости тех людей, которые не спасовали перед этой магией природы, а, поразмыслив, заключили: стоит.

И не только думать о поимке, но и ловить нейтрино! Это были американские физики Клайд Коуэн и Фредерик Рейнс.

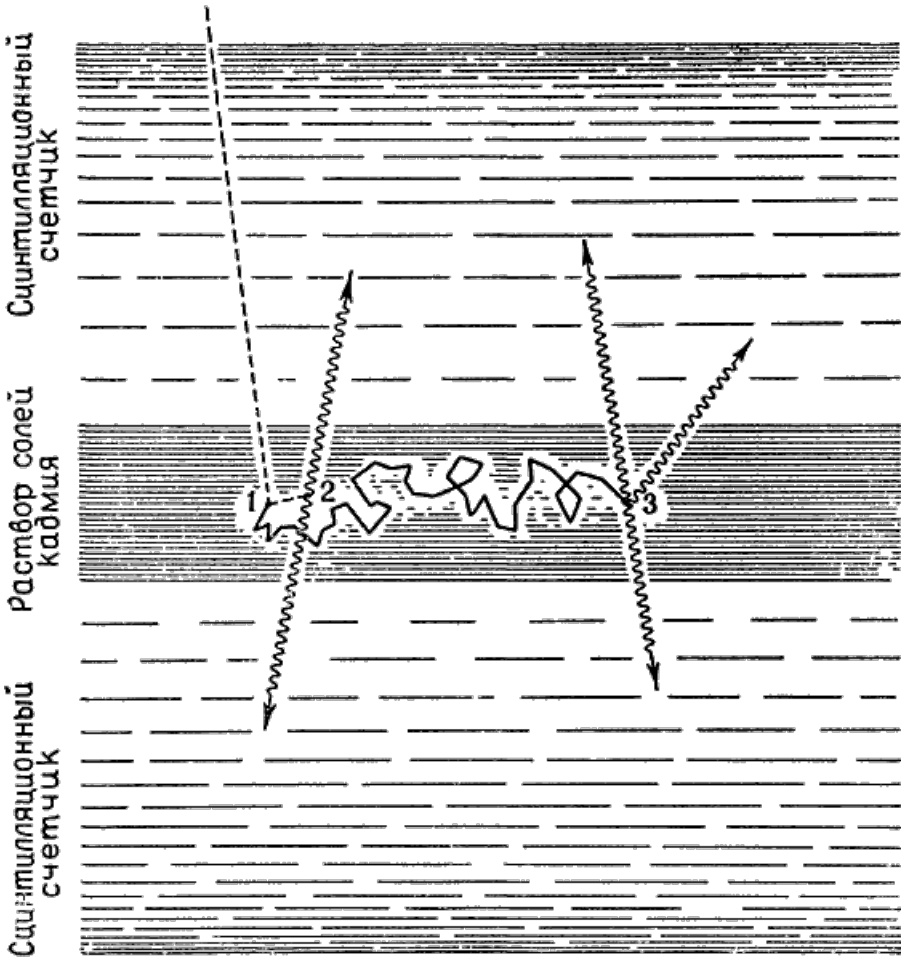
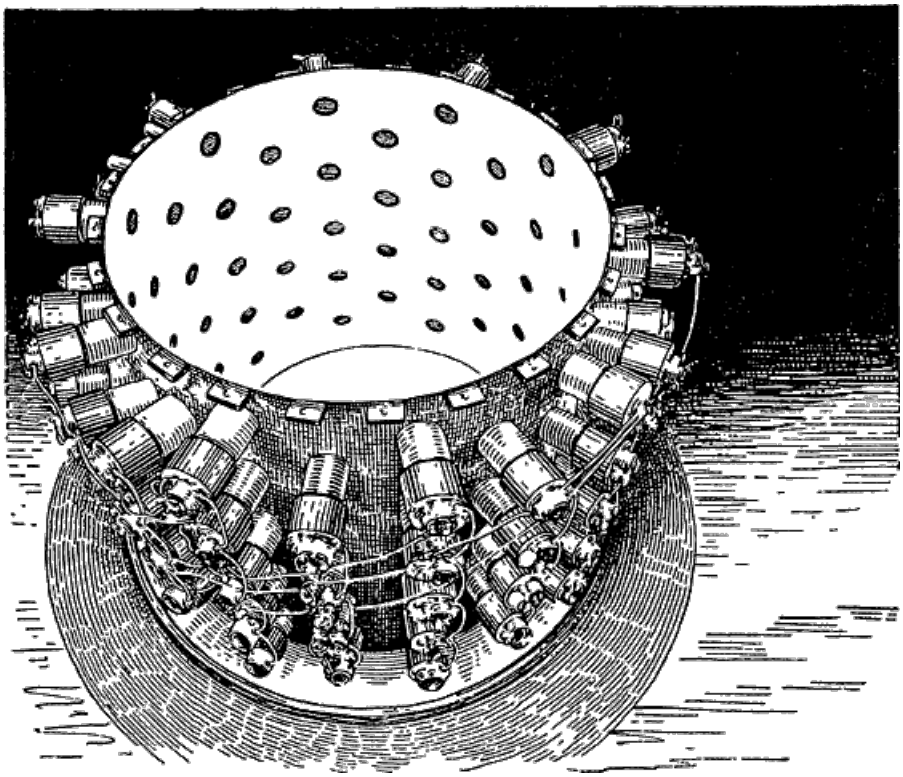


Схема опыта Коуэна и Рейнса по «поимке» нейтрино. Нейтрино (пунктирная линия) встречает протон в точке 1 и превращает его в нейтрон и позитрон. Последний в точке 2 аннигилирует с электроном, испуская два гамма-кванта. Эти кванты регистрируются верхним и нижним счетчиками сцинтилляций. Нейтрон блуждает в растворе несколько миллионных долей секунды (зигзагообразная линия), а затем захватывается ядром кадмия в точке 3. При этом рождаются три гамма-кванта, которые регистрируются сцинтилляционными счетчиками. Если такая цепочка событий следует с интервалом в миллионные доли секунды, значит, она вызвана нейтрино. На стр. 203 — общий вид установки Коуэна и Рейнса. Видны некоторые из 90 фотоумножителей, встроенных в стенку белого бака.



Первый вопрос, который встал перед ними, — где искать? В космических лучах? — бесполезное дело. Нельзя же избрать для охоты заповедник во многие миллиарды кубических километров, по которому бродят нейтрино.

Возле мощных ускорителей — это лучше. Заповедник поменьше, но нейтрино все равно мало — какие-нибудь тысячи штук в секунду от распадов мезонов, образовавшихся в мишени ускорителей.

Лучше всего ядерный реактор. Вместо того чтобы миллионы лет охотиться за тысячами частиц, лучше несколько месяцев охотиться за миллиардами частиц!

А из реактора летят целые тучи нейтрино. Ежесекундно в нем появляются при развале ядер триллионы нейтронов. Ежесекундно они захватываются ядрами, образуя радиоактивные изотопы. А эти изотопы, испытывая бета-распад, выбрасывают полчища электронов в паре с их неуловимыми сообщниками.

Электроны — те застревают в теле реактора и толстенной его защите. Нейтрино же проходят сквозь эти стены, словно через пустое место. Вот тут и надо расположить сеть для их поимки, решили ученые.

Второй вопрос — как искать? Решение было очень

остроумным — вернуть нейтрино в ядро! Разумеется, не в то, из которого он вылетел, а в другое, поставленное на его пути.

Как возникают нейтрино? Нейтрон в ядре распался на протон, электрон и нейтрино. А если теперь нейтрино столкнется с протоном, то распад пойдет «обратным ходом»: возникнут нейтрон и позитрон.

Но ход обратного процесса будет чудовищно медленным. Миллиарды миллиардов нейтрино пройдут сквозь протон, как через пустое место, и лишь один из них соблаговолит заметить его присутствие. На этом и был построен весь план поимки нейтрино.

Суть опыта такова.

Позитрон, возникший при захвате нейтрино протоном, уносит с собой приличную энергию и должен ионизировать атомы на своем пути. Пройдя один или два сантиметра (на это ему потребуется лишь стомиллиардная доля секунды), он растратит свою кинетическую энергию и будет проглочен первым встречным зеркальным братом — электроном. На свет появится пара фотонов гамма-лучей.

Новорожденный нейтрон обделен энергией и движется медленно. Он блуждает, сталкиваясь с ядрами, и еще более замедляет свое движение. В конце концов его съедает какое-нибудь ядро, в результате чего испускается радиоактивное излучение, например те же гамма-фотоны.

Помните счетчик с кристаллом и фотоумножителем на «баррикадах»? Он очень активно реагирует на приход гамма-квантов, и потому его решили использовать экспериментаторы. Но очень крупного кристалла не вырастишь, а чем больше его объем, тем лучше — тем большее пространство можно обозреть с его помощью.

После размышления ученые решили заменить кристалл жидкостью, обладающей подобными свойствами. Выбрали толуол. Чтобы увеличить число «реагирующих» с нейтрино протонов, в бак долили жидкость, богатую водородом. И наконец, чтобы сократить время блуждания новорожденного нейтрона, к смеси добавили кадмий: его ядра хватают нейтроны с невиданной жадностью. Теперь нейтрон гуляет в свободном виде лишь какие-нибудь миллионные доли секунды.

Все эти жидкости залили в огромный бак — чуть ли не на 15 кубометров. Чего стоила одна лишь их очистка даже от совершенно ничтожных загрязнений! Уж этот опыт должен был быть сверхчистым!

Очистили и бак, а стенки его покрыли белой краской, чтобы они совершенно не поглощали слабого света вспышек толуола.

Наконец, в жидкость добавили специальное вещество, которое придавало вспышкам цвет, наилучшим образом отражавшийся стенками. И, наконец, встроили в стенки бака несколько сотен самых лучших фотоумножителей.

И все это сооружение с величайшими предосторожностями захоронили в защитной стене одного из самых мощных ядерных реакторов. Наружу выходили лишь провода питания фотоумножителей и провода, по которым передавались сигналы от них.

Образование позитрона почти мгновенно давало вспышку в жидкости — сначала от ионизации, а затем от его аннигиляции. Обе эти вспышки следовали друг за другом быстро и практически сливались в одну. Затем спустя миллионные доли секунды следовала вторая вспышка от гамма-квантов, выброшенных ядром кадмия при захвате блуждавшего нейтрона.

Ученые засели за счет вспышек. Но прежде всего они застраховали себя. В конце концов такая комбинация вспышек могла быть вызвана разными случайными причинами — и космическими лучами, и радиоактивностью неработающего реактора, и многими другими.

Поэтому, еще до того как замуровать бак в стену реактора, они провели длительный контрольный опыт. Вы уже догадываетесь, что они считали фон. И только после этого начался долгий решающий опыт.

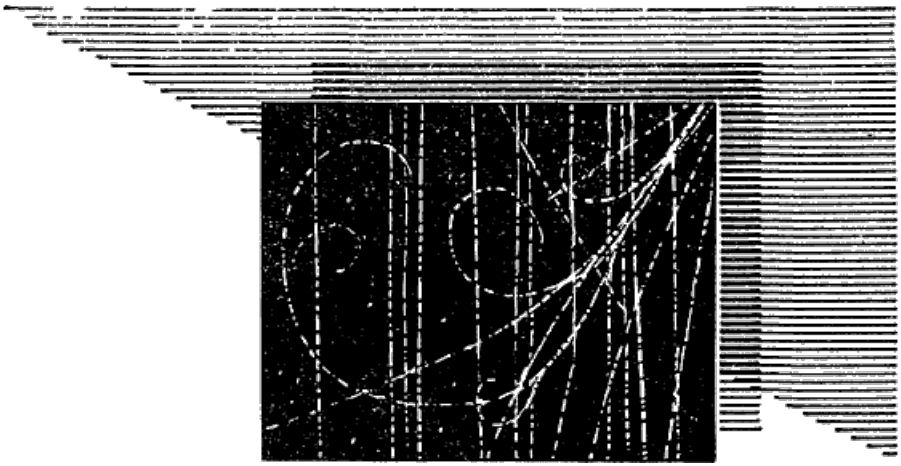
Медленно набираются редкие вспышки при работающем реакторе. Одна, вторая, третья. И только спустя длительное время становится ясным, что число вспышек в баке при работающем реакторе уже чуть-чуть превышает их число в контрольном опыте. Какие-нибудь три дополнительные вспышки в час.

Чуть-чуть! Но это несомненное «чуть-чуть». Оно выходит за пределы ошибок опыта. Единственной его причиной может быть только существование нейтрино.

Вот и все. Вы, должно быть, разочарованы? Вы ожидали чего-то весомого, зримого, яркого? Тогда еще раз перечитайте предыдущие главы этой книги. И вам станет ясно, что в невесомом и столь трудноуловимом мире сверхмалых частиц самые выдающиеся победы достигнуты, в сущности, косвенным путем.

И глаз не видит, и ухо не слышит, и зуб неймет! Но то, что недоступно чувствам, покоряется мощи человеческого разума.

Глава 9
Величие сверхмалого



Путешествие по лестнице энергий

Один физик когда-то остроумно заметил: «В сущности, физика может определить свою историю, как путешествие вверх по лестнице энергий!» Интересные слова! Какой же смысл в них вложен?

Школьное изучение физики мы начинаем с самых привычных вещей. Человек в лодке бросает камень. Лошадь тянет телегу. Сталкиваются и разлетаются в разные стороны бильярдные шары. Качается маятник на старых ходиках. Бегут волны по воде от брошенного камня. Звучит музыка в концертном зале. Все это — примеры механического движения.

Затем учитель переходит к теплоте. Перед нами длинной чередой проходят температуры, теплоемкости, теплопроводности, плавление, кипение, испарение. И вот на одном уроке сдергивается покров с первой тайны, лежащей в глубине вещей. Перед нами появляется молекула. Пока — просто крошечный бильярдный шарик, бесчисленное число раз сталкивающийся с другими такими шариками, пока еще не наделенный какими-то более тонкими свойствами.

Потом настает очередь электричества. Снова идут общие

законы: притяжения, отталкивания, постоянного тока, переменного тока. Затем приподнимается занавес над второй тайной — над электронами.

Курс тем временем движется дальше. Подобно вавилонской богине Иштар — ее еще называют Астартой — мир, скрытый в глубинах вещей, сбрасывает один покров за другим. Вырисовывается мир атома, мир атомного ядра. И в конце концов перед нами предстает наиболее глубоко запрятанный из миров — мир элементарных частиц.

Так мы проходим школьный курс. Так его проходила сама физика. И проходила, двигаясь вверх по лестнице энергий.

Самые малоэнергичные движения — механические. Можно со страшной силой ударить снарядом по цели и разбить ее на мелкие осколки. И все равно осколки будут достаточно крупными, а удар останется механическим. Однако уже горение пороха в стволе орудия превращает его в газ, дробит на «осколки» в виде молекул. А еще более сильный нагрев разлагает и сами молекулы на атомы.

Электрическое поле еще сильнее. Оно обладает энергией, которая может разрушить и сам атом. Тогда появляются освобожденные из атомного плена электроны и атомные ядра. Электрическим полем можно разогнать атомные частицы до такой энергии, что они разрушат ядра. Появятся протоны, нейтроны, мезоны и другие элементарные частицы.

И здесь мы вступаем в область сверхвысоких энергий. Здесь мы достигаем сегодня верха энергетической лестницы.

Смотрите, как меняются контуры мира на каждой новой, более высокой ступеньке. Мы с вами живем у подножия этой лестницы. Нас окружает удивительное разнообразие живых существ — многие миллионы видов, и в каждом виде в чем-то хоть немного, но не похожие друг на друга особи. Но энергетически это разнообразие очень непрочно.

Небольшой нагрев — до каких-нибудь 100 градусов по Цельсию, — и живой мир перестает существовать. Гибнут нежные молекулы белков, разваливаются на кирпичики молекулы жиров и углеводов. Молекулярный мир становится беднее.

Следующая ступенька — нагрев до тысячи градусов, и перестают существовать более грубые и выносливые молекулы неорганических соединений, плавятся, испаряются и, наконец, разваливаются на атомы их молекулы.

Мы попадаем в мир атомов. Здесь разнообразие кажется нам довольно бедным. Несколько сотен различных видов, если в их число включить ионы, — атомы с поредевшими электронными оболочками.

Затем настает очередь раскаленной плазмы, в которой атомы постепенно по мере нагрева лишаются своих электронных оболочек. Теперь все разнообразие составляют лишь изотопы сотни ядер.

И наконец еще один — последний на сегодняшний день — подъем по лестнице энергий. Мы достигли цели своего путешествия. Перед нами раскрывается удивительно бедный и однообразный мир, который населяет около ста видов жителей. Именно столько разных элементарных частиц знают сегодня физики.

Поиск в тумане

Бедный и однообразный мир? Попробуйте скажите так физикам! На вас немедленно обрушится град насмешек.

Потрясающе богатый и разнообразный мир! Мир, который с непостижимой быстротой меняет свои краски и очертания. Мир, в котором ничего нет постоянного и твердого, кроме, может быть, тех законов, которые управляют его жизнью. Мир, вечно находящийся в движении и непрестанном изменении.

Мир, не измышленный физиками, а совершенно реально существующий во Вселенной вокруг нас. Мир, в котором можно пробираться лишь с топором труднейшей математики и с рюкзаком, доверху наполненным фантазией. И все-таки пока еще необжитый и непонятый мир.

Это — не хорошо знакомый атом. В мире элементарных частиц на каждом шагу рискуешь встретить неожиданное. Поиск идет в тумане. Туман настолько густ, что свет даже от таких мощных прожекторов, как квантовая механика и теория относительности, глохнет в нем уже на первых метрах пути.

И все же человеческая любознательность необорима. С огромным трудом, почти вслепую, лишь изредка нащупывая вехи в тумане, движется вперед большая, сплоченная армия теоретиков и экспериментаторов. Из маленьких шагов складываются большие.

Временами туман редеет, чтобы затем сгуститься еще плотнее. Сегодня физики находятся в самом сердце нового мира элементарных частиц.

Об этом стоит рассказать. Но с чего начать? Повторить шаг за шагом весь путь физиков, даже по занятой уже ими территории, над которой остались лишь клочья тумана, в этой небольшой

книге невозможно. Взять в руки «топор» математики тоже нельзя: он слишком тяжел, и размахивать им под силу лишь тому, кто прошел через годы напряженной физической и математической подготовки.

Остается лишь «рюкзак» фантазии. Вернее, «рюкзак» совершенно необычных представлений, на которые природа натолкнула умы физиков.

Содержимое этого «рюкзака» нам уже немного приоткрылось. Мы узнали о двуликости обитателей микромира, о таинственных спинах частиц. (Это действительно «спины»; сущность удивительного явления еще не повернулась лицом к физикам.) Наконец, мы уже немного знакомы с тем, что составляет сердцевину современных представлений, — с виртуальными процессами. Что же, для начала этого может быть достаточно.

Перепись частиц

Мы прервали наш рассказ на эпопее косвенного открытия нейтрино. Это 1957 год. Временное затишье, наступившее после лавины новых частиц в начале пятидесятых годов, заканчивается. В действие вступили новые гигантские ускорители частиц. Теоретики добились новых успехов.

И объединенный натиск экспериментаторов и теоретиков словно сорвал замки с еще более глубоких кладовых природы. Начался невиданный до сих пор поток новых открытий. К 1965 году охотники за частицами обнаружили около сотни различных обитателей этого мира.

Как водится, в любой стране время от времени устраивается перепись населения. Государство должно знать, сколько народа в нем живет, кто чем занимается и еще много других вещей о его обитателях.

И физики не избежали необходимой переписи в мире частиц. Удивительно быстро росло открываемое его население. В конце двадцатых годов физики знали достоверно о существовании лишь двух частиц — протона и электрона. К середине пятидесятых годов героическая совместная работа экспериментаторов и теоретиков позволила включить в перепись уже тридцать две частицы.

Сегодня же настала пора провести новую перепись. Открыто уже около ста частиц. И дело не только в быстром росте населения микромира. Главное в том, что физики вынуждены

изменить — в который уже раз! — взгляды на их классификацию.

Да, с этого начинается и этим кончается любая перепись. Надо же не только знать, сколько разных частиц обитает в микромире, но и — это самое важное — понять, в каких взаимоотношениях находятся они друг с другом.

Есть ли среди них «родители» и «дети». Есть ли «братья» и «сестры». А установление родственных связей — вещь очень нужная: она позволяет навести порядок в знаниях об этом мире, помогает предсказывать новые, еще не открытые частицы.

Обычная перепись характеризует население в первую очередь такими «устойчивыми», не меняющимися признаками, как пол, имя, отчество, фамилия, национальность, местожительство. Впрочем, и фамилия, и местожительство могут изменяться, хотя и человек при этом зачастую существенно не меняется. Далее следует характеристика, меняющаяся постоянно, — возраст. Затем признак, меняющийся иногда часто, а иногда лишь раз в жизни, — профессия.

Что ж, начнем с первого признака — мужской ли пол, женский ли. Население микромира тоже «двуполо»: оно состоит из частиц и античастиц.

Заряженные электрически частицы отличаются от своих античастиц знаком электрического заряда. Например, протон заряжен положительно, а антипротон — отрицательно. Нейтральные же частицы — тут вопрос посложнее: отличие касается других свойств. Например, нейтрон отличается от антинейтрона магнитными свойствами. Об этом еще будет разговор. И только немногие частицы решительно ничем не отличаются от своих античастиц: это фотон и нейтральные пи- и эта-мезоны. Первый из этих мезонов был открыт несколько позже своих заряженных собратьев. На фотопластинках и в счетчиках он из-за отсутствия электрического заряда следов не оставляет и был обнаружен по косвенным свидетельствам.

Дальше наша перепись начинает резко отличаться от обычной. На первое место выступит… масса обитателей микромира (точнее — их масса покоя). «Возраст» их, как вы увидите, тоже играет роль, и весьма существенную: иначе бы он не попал в перепись, — но масса еще важнее.

И вот почему. Взгляните на таблицу переписи обитателей микромира. Вы сразу замечаете, что все частицы группируются в кучки. Если отвлечься от античастиц — массы их такие же, как у отвечающих им частиц, — то видно, что «расстояния» между массами в пределах каждой кучки, как правило, значительно меньше, чем между кучками.

Одни кучки состоят из одной частицы (и разумеется, ее

античастицы), другие — из двух, трех и даже из четырех. Сами кучки группируются в три сорта: первый из них получил название лептонов (легких частиц), второй — мезонов (средних частиц), третий — барионов (тяжелых частиц).

Какие же основания для такого подразделения? Почему физики убеждены в том, что разные массы — значит, разные частицы? Разве не может одна и та же частица иметь разные массы?

Видимо, нет: природа — очень аккуратный работник. У нее не бывает так, чтобы кирпич одного сорта выходил из печи то с недовесом, то с перевесом. Сколько бы она ни выпускала, скажем, электронов — никакой, даже самый придирчивый контролер не заметит в них ни малейшего отличия.

Раз другая масса, значит, другое поведение частицы, значит, и сама частица иная. За примером недалеко ходить: в группе лептонов вместе с электроном и позитроном физики поселили мю-мезон. (Правда, мю-мезоны по свойствам так резко отличаются от остальных мезонов, что физики все чаще называют их мюонами, чтобы даже приставка «мезон» не связывала их с «настоящими» мезонами.)

Мы уже говорили, что мюоны решительно ничем не отличаются от электронов — разве что только массой. Но это «разве что» — очень важно! Мюон, в отличие от электрона, — неустойчивое изделие природы и стремится как можно быстрее избавиться от «довеска» массы. Это ему удается спустя миллионные доли секунды (смотри предпоследнюю колонку переписи). После чего он действительно перестает отличаться от электрона.

Но почему же мю-мезон, почти на 206 электронных масс тяжелее электрона, попал с ним в одну группу, а пи-мезон, который тяжелее мю-мезона всего лишь на 68 единиц массы; оказался совсем в другой группе? Тут в ход идет другое важнейшее свойство частиц — спин. Мы уже говорили, что это дополнительный момент количества движения частицы: внешне похожий на вращение частицы вокруг «собственной оси». Теперь же надо сказать, какой водораздел он проводит в мире частиц.

Уже давно физики попытались разделить все известные частицы на две категории — частицы основные и частицы вспомогательные. К основным они отнесли электрон, протон и нейтрон, к вспомогательным — фотон и пи-мезоны. Основным частицам было уготовано райское устойчивое существование, а вспомогательным — адская работа: бегать почтальонами от одной основной частицы к другой, чтобы они узнали о существовании друг друга.

Фотоны должны были метаться между всеми электрически заряженными частицами, более солидные пи-мезоны — только между протонами и нейтронами. Вспомогательные частицы, таким образом, объявлялись переносчиками взаимодействий между частицами.

Каждому виду взаимодействия было приписано свое поле, а соответствующие частицы считались квантами этого поля. Так фотоны стали квантами электромагнитного поля, а пи-мезоны — квантами ядерного поля.

Таблица

Группа	Название частицы	Символ: частицы	Символ: античастицы	Масса	Спин	Электр. заряд: частицы	Электр. заряд: античастицы	Барион. заряд: частицы	Барион. заряд: античастицы	Лептон. заряд: частицы	Лептон. заряд: античастицы	Изотопич. спин	Страннность: частицы	Страннность: античастицы	Время жизни, секунды	Продукты распада частицы
Лептоны	Фотон	γ	γ	0	1	0	0	0	0	0	0				устойчив	
	Нейтрино 1	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	1/2	0	0	0	0	1	−1				устойчиво	
	Нейтрино 2	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	1/2	0	0	0	0	1	−1				устойчиво	
	Электрон	e^-	e^+	1	1/2	−1	+1	0	0	1	−1				устойчив	
	Мюон	μ^-	μ^+	206,7	1/2	−1	+1	0	0	1	−1				$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	$e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$
Мезоны	Пи-мезоны	π^0	π^0	264,2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	$2{,}2 \cdot 10^{-16}$	2γ; $\gamma + e^+ + e^-$
		π^+	π^-	273,2	0	+1	−1	0	0	0	0		0	0	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$
	Ка-мезоны	K^+	K^-	966,5	0	+1	−1	0	0	0	0	1/2	1	−1	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$e^+ + \nu_e + \pi^0$; $\mu^+ + \nu_\mu$; $\pi^+ + \pi^0$; 3π; $\mu^+ + \nu_\mu + \pi^0$
		K^0	$\bar{K}^0$	974	0	0	0	0	0	0	0	1/2	1	−1	K_1^0 $1{,}0 \cdot 10^{-10}$; K_2^0 $6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ + \pi^-$; $2\pi^0$; $\pi^0 + \pi^+ + \pi^-$
	Эта-мезон	η^0	η^0	1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\sim 10^{-10}$	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$

Продолжение

Мезоны	„Резонансные" мезоны	ρ	$\bar{\rho}$	1470	1	1;0	−1;0	0	0	0	0	1	0	0	$\sim 10^{-23}$	$\pi^+ + \pi^-$
		ω^0	$\bar{\omega}^0$	1530	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$
		K^*	$\bar{K}^*$	1730	1	1;0	−1;0	0	0	0	0	1/2	1	−1		$\pi + K$
		φ	$\bar{\varphi}$	2000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		$K^+ + K^-$; $2K^0$
		B	$\bar{B}$	2390	?	1;0	−1;0	0	0	0	0	1	0	0		$\pi + \omega^0$
				2450	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		$\pi^+ + \pi^-$
Барионы	Протон	p	$\bar{p}$	1836,1	1/2	1	−1	1	−1	0	0	1/2	0	0	устойчив	
	Нейтрон	n	$\bar{n}$	1838,5	1/2	0	0	1	−1	0	0	1/2	0	0	1013	$p + e^- + \bar{\nu}_e$
	Гиперон ламбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2182	1/2	0	0	1	−1	0	0	0	−1	1	$2{,}5 \cdot 10^{-10}$	$p + \pi^-$; $n + \pi^0$
	Гипероны сигма	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327	1/2	1	−1	1	−1	0	0	1	−1	1	$0{,}8 \cdot 10^{-10}$	$p + \pi^0$; $n + \pi^+$
		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2331	1/2	0	0	1	−1	0	0	1	−1	1	менее 10^{-11}	$\Lambda^0 + \nu$
		Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2340	1/2	−1	1	1	−1	0	0	1	−1	1	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	$n + \pi^-$
	Гипероны кси	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	2565	1/2	0	0	1	−1	0	0	1/2	−2	2	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^0$
		Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2580	1/2	−1	+1	1	−1	0	0	1/2	−2	2	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 + \pi^-$
	Гиперон омега	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3296	3/2	−1	−1	1	1	0	0	0	−2	−2	$\sim 10^{-10}$	$\Xi^0 + \pi^-$

Продолжение

Группа	Название частицы	Символ: частицы	Символ: античастицы	Масса	Спин	Электр. заряд: частицы	Электр. заряд: античастицы	Барион. заряд: частицы	Барион. заряд: античастицы	Лептон. заряд: частицы	Лептон. заряд: античастицы	Изотоп., спин	Странность: частицы	Странность: античастицы	Время жизни, секунды	Продукты распада частицы
Барионы		N_1	$\overline{N}_1$	2980	3/2	0	0	1	—1	0	0	1/2	0	0		$p+\pi^-$; $n+\pi^0$
		N_2	$\overline{N}_2$	3300	5/2	0	0	1	—1	0	0	1/2	0	0		$p+\pi^-$, $n+\pi^0$
		N_3	$\overline{N}_3$	4290	?	0	0	1	—1	0	0	1/2	0	0		$K^0+\Lambda^0$
	„Резонансные" гипероны	Δ_1	$\overline{\Delta}_1$	2420	3/2	2; 1; 0; —1	—2; —1; 0; +1	1	—1	0	0	3/2	0	0		π^-+p; π^0+n
		Δ_2	$\overline{\Delta}_2$	3230	5/2	"	"	1	—1	0	0	3/2	0	0		π^-+p; π^0+n
		Δ_3	$\overline{\Delta}_3$	3760	7/2	"	"	1	—1	0	0	3/2	0	0		π^-+p; $\Xi+K$
		Δ_4	$\overline{\Delta}_4$	4620	?	"	"	1	—1	0	0	3/2	0	0		π^-+p, π^0+n
		Λ_1	$\overline{\Lambda}_1$	2750	?	0	0	1	—1	0	0	0	—1	1	$\sim 10^{-23}$	$\Sigma+\pi$
		Λ_2	$\overline{\Lambda}_2$	2990	3/2	0	0	1	—1	0	0	0	—1	1		$\Sigma+\pi$
		Λ_3	$\overline{\Lambda}_3$	3560	5/2	0	0	1	—1	0	0	0	—1	1		K^-+p
		Ξ_1	$\overline{\Xi}_1$	3000	3/2	0; —1	0; +1	1	—1	0	0	1/2	—2	2		$\Xi+\pi$
		Σ_1	$\overline{\Sigma}_1$	2720	3/2	1;0;—1	—1,0;1	1	—1	0	0	1	—1	1		$\Lambda+\pi$
		Σ_2	$\overline{\Sigma}_2$	3250	5/2	1;0;—1	—1;0;1	1	—1	0	0	1	—1	1		$\Lambda+2\pi$; $\Sigma+2\pi$

И природа, чтобы как-то пометить кванты этих полей, отличить их от «настоящих» частиц, придала им спины, отличные от спинов основных частиц. Она сделала этот спин либо вдвое больше, чем у многих настоящих частиц, — например, спин фотона, эта-мезона, либо вообще не выделила им кванты, как у пи- и ка-мезонов.

Впоследствии эта довольно ясная картина затуманилась. Вспомогательные частицы, как оказалось, могли при достаточной энергии не более и не менее, как рождать основные частицы! И вообще, вопрос о том, что главнее — частица или квант, — пришлось снять с повестки дня.

И частицы и кванты оказались одинаково главными: поле смогло превращаться в вещество, а вещество — в поле. Так что сегодня физики уже безо всяких споров соглашаются с великой истиной, что поле и вещество — совершенно равноправные формы существования материи.

Но равноправие не исключает различия. И мерилом этого различия служит величина спина. Она «целая» (0; 1 и так далее) у известных к настоящему времени квантов, и «полуцелая» ($^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$, $^7/_2$ и так далее) у известных частиц.

Вот почему пи-мезоны отделены высокой стеной от соседних им мю-мезонов. Стена эта, конечно, не мешает соседям общаться: мы знаем, что свободный от работы в ядре пи-мезон охотно позволяет себе принять облик соседа — мю-мезона. Однако при исполнении служебных обязанностей он этого никогда не делает. По спиновому признаку в ту же группу попадают и ка-мезоны, и более тяжелые мезоны.

В группе барионов (к ней относятся и гипероны) все частицы

«настоящие» — у них у всех «полуцелые» спины.

И все-таки, что ни говори, а природа в этом мире тоже любит разнообразие. На почти сотню разных частиц она запасла только немногим больше десятка разных квантов. Видимо, решила: и этого хватит для обмена сообщениями. Почтальонов должно быть меньше, чем адресатов!

О чем рассказали почтальоны

Разные почтальоны — разные сообщения. Одни передаются телеграммой-молнией: мелькнул пи-мезон от протона к нейтрону, и нет его. Ученые прикинули то время, за которое переносятся сообщения в ядрах: 10^{-23} секунды.

Мы видели, что за это ничтожное время могут происходить весьма энергичные события. За посылку сообщения нейтрону протон должен заплатить изрядную энергетическую сумму — по меньшей мере энергию покоя пи-мезона!

Физики назвали такие взаимодействия частиц сильными.

Другие сообщения передаются обычными телеграммами. Их носят фотоны — как и на настоящем телеграфе. Послало ядро сообщение своему электрону или пара электронов решила познакомиться в атоме — и побежал фотон. Приблизительно через 10^{-17} секунды телеграмма доставлена.

Срок дольше — оплата ниже. Фотон стоит уже только сотни или тысячи электрон-вольт, а не сотню миллионов, как пи-мезон. Названия этому виду взаимодействий придумывать уже не пришлось: они давным-давно уже именовались электромагнитными.

Сообщение можно послать и с письмом. С кем? Увы, почтальон еще себя не обнаружил. Сначала думали, что это — нейтрино, а потом от этой мысли пришлось отказаться: нейтрино явно не квант, у него «полуцелый» спин. Сегодня предполагают, что на роль кванта такого поля может претендовать некая довольно тяжелая частица. Сейчас ее усиленно ищут.

Однако известно, сколько примерно времени идет письмо. Это зависит от солидности адресата. Сравнительно легкие мю-мезоны получают сообщение примерно за 10^{-6} секунды, чуть более солидные пи-мезоны, а также ка-мезоны — примерно за 10^{-8} секунды, а тяжелые гипероны — еще в сто раз быстрее.

Все они, получив это сообщение, ведут себя одинаково — кончают счеты с жизнью, распадаясь на более легкие частицы. Что

они получают в этом драматическом сообщении? Пока что неизвестно. Однако, если не считать цены жизни частицы, такие сообщения стоят довольно дешево — тысячные и меньшие доли электрон-вольта.

Физики с полным основанием назвали такие «распадные» взаимодействия слабыми.

Наконец, есть еще один вид посылки сообщений, не нашедший отражения в нашей таблице. Он самый старый. Открыл его Ньютон, и по тем временам уместно сравнить его с посылкой известия с гонцом.

Едет-едет гонец, а конца пути все не видно. Оттого и стоит посылка известия с ним дешевле всех других видов почты.

Это — гравитационное взаимодействие, тяготение. Кто гонец? Должно быть, особые кванты — гравитоны. Пока что их никто не уловил: слишком ничтожно между легчайшими частицами гравитационное взаимодействие по сравнению с остальными. Поймать гравитоны, видимо, гораздо труднее, чем даже рекордно неуловимое нейтрино!

Великое белое пятно в физике — гравитация! Стирать его, по сути дела, физики начинают лишь в самые последние годы. И пока еще им нечем похвастаться, а нам не о чем писать. Этот разговор мы отложим, что называется, до лучших времен.

Классификация взаимодействий, как выяснилось, очень помогла классификации частиц. Многие тайны раскрыли «нескромные» почтальоны!

Как ищут законы

Вернемся к нашей переписи частиц. Взглянем в таблицу: физикам словно показалось мало иметь в своем распоряжении электрический заряд, и они добавили еще какие-то «барионный заряд», «лептонный заряд», «странность». Да еще к туманному спину добавили какой-то совсем уж темный «изотопический спин».

Если уподобить известные частицы карточной колоде, то сегодняшние занятия физиков с этой колодой можно кратко охарактеризовать так: пасьянс. Раскладываются карты так и этак, часть влево, часть вправо, часть вверх, часть вниз. То одно правило игры придумают, то другое.

Но до недавнего времени не ложились карты одна к другой так, как того хотелось бы. А хотелось бы иметь в своих руках не

много, не мало, как те самые «главные» правила, по которым играет природа частицами. Однако очень уж сложны, глубоко запрятаны эти правила. Уже не один год бьются теоретики, чтобы их разгадать. Но пока без решающего успеха, хотя в ряде важных успехов им отказать нельзя. А потому и подменяют неизвестные пока «главные» правила сплошь да рядом своими правилами.

Эти правила, конечно, не беспочвенная выдумка физиков. Они, без сомнения, существуют в природе, но как следствие неких «главных» правил. Почему они существуют, что они собою выражают? Ответом на эти вопросы сегодня еще является молчание.

Все эти «придуманные» правила выражаются как законы сохранения. Несколько законов сохранения вам знакомо из школьных учебников.

«Масса никуда не исчезает и ниоткуда не появляется».

«Энергия никуда не исчезает и ниоткуда не берется».

Это законы сохранения массы и энергии. Мы, однако, уже не раз видели, что и масса, и энергия могут «исчезать» и «появляться» — при распадах, при рождении и аннигиляции частиц. Происходит то, что часто неточно называют: «масса переходит в энергию» или «энергия превращается в массу».

На самом деле — это вещество переходит в поле и обратно. Так что уж лучше было бы говорить об «объединенном» законе сохранения массы и энергии. И выражать его, например, такими словами: «энергия покоя плюс энергия движения или же масса покоя плюс масса движения частиц и тел никуда не исчезают и ниоткуда не появляются».

Пойдемте дальше, руководствуясь простыми школьными примерами. Пушка откатывается при выстреле, лодка движется, если лодочник швыряет камни. Это закон сохранения количества движения, или импульса.

Фигурист, раскрутившись, обнимает себя руками и начинает вращаться быстрее. Здесь действует закон сохранения момента импульса. Кстати, спин, как мы помним, есть величина подобного рода. Так что к нему вполне приложим этот закон.

И, наконец, «общая сумма всех положительных и отрицательных зарядов тел есть величина постоянная». Это закон сохранения электрического заряда.

Казалось бы, до чего скучные законы! И так все понятно без них. Но именно с помощью этих законов физики пробираются в тумане мира сверхмалых частиц. Именно эти законы позволяют отличить распад одной частицы от распада другой, сделать определенный выбор из того множества событий, о котором может говорить сложная путаница следов на фотопластинке. Вот

тебе и скучные законы!

Более того, даже этих законов сегодня уже не хватает. Физики, чтобы объяснить свои наблюдения, вынуждены придумывать новые законы. Вот, пожалуйста, пример.

Нейтрон, как видно из таблицы, распадается на протон, электрон и нейтрино (пока не будем уточнять, что у нас за нейтрино — об этом будет сказано дальше). Что мешает тому же нейтрону распасться иначе? Скажем, на электрон и пи-плюс-мезон?

Сумма их зарядов будет по-прежнему нуль (так что электрический заряд в распаде сохраняется). Масса новорожденных значительно меньше, чем у родителя, но он в наследство им может передать внушительную энергию (так что выполнится «объединенный» закон сохранения массы и энергии).

А импульс? Новорожденные частицы могут разлететься так, чтобы и импульс не изменился.

Момент импульса (спин)? И тут полный порядок. У нейтрона — $^1/_2$, у электрона — $^1/_2$, а у пи-мезона его вовсе нет.

Итак, все «сохраняется», а распада как не бывало. Какая же таинственная причина запрещает его? Она действительно пока таинственная.

И физики, чтобы хоть на время выйти из положения, придумывают новый закон. Они заявляют: «Не может быть, чтобы природа пошла на уменьшение числа протонов и нейтронов в мире! Значит, число этих частиц во всех распадах должно сохраняться». А чтобы облечь эти слова в математическую запись, вводят барионный заряд.

Этот заряд похож на электрический: он равен +1 для барионов (например, +1 для протона и нейтрона), –1 для антибарионов (например, –1 для антипротона и антинейтрона) и нулю для всех остальных частиц. А по абсолютной величине он должен быть значительно больше электрического заряда электрона или протона.

Новый закон теперь звучит как «закон сохранения барионного заряда». Он должен выполняться при любых встречах, при любых распадах тяжелых частиц.

Отсюда видно, «почему» нейтрон не может распадаться на электрон и пи-мезон. Для них сумма барионных зарядов равна нулю, тогда как для нейтрона этот заряд равен единице.

С другой стороны, протон, сколько бы он ни сталкивался с другим протоном, никогда не создаст антипротона в одиночку. Это же нарушает постоянство барионного заряда.

Антипротон может родиться только в паре со своим зеркальным братом. Оттого-то за его рождение пришлось, как вы

помните, заплатить шесть миллиардов вместо одного миллиарда электрон-вольт.

А вот, чтобы слиться со своим братом, никаких «свидетелей» антипротон не требует. Была до слияния сумма их барионных зарядов нуль, разлетелись из места слияния «дребезги» пи-мезонов — нуль и остался.

Подобный смысл имеет и лептонный заряд.

Из факта его сохранения немедленно следует, что, например, электрон сам по себе не может превратиться в фотон. У электрона лептонный заряд единица, у фотона — нуль. Электрон может образовывать фотоны лишь в паре с позитроном. При этом гасятся их равные по величине, но противоположные по знаку лептонные заряды (а заодно — и электрические, как того требует закон сохранения электрического заряда).

А закон сохранения импульса еще добавляет требование, чтобы фотонов при этом появилось не меньше двух: общий импульс слившихся электрона и позитрона равен нулю. Фотон же обязательно имеет не равный нулю импульс. Вот и добавляется второй фотон, который улетает в направлении, противоположном первому, и с таким же импульсом. Энергия этих двух фотонов в сумме как раз равна энергии покоя обоих их «родителей» плюс энергии движения, которую те имели перед слиянием.

Целых пять законов сохранения ревниво оберегают возможность аннигиляции электрона и позитрона! Нельзя нарушиться даже хотя бы одному из них: тогда, даже если бы все остальные выполнялись совершенно строго, процесс не пойдет.

Или другой пример — распад мю-минуса на электрон. Казалось бы, здесь все в порядке: сохраняется и электрический заряд (был минус и остался минус — нейтрино не имеет такого заряда), сохраняются и энергия, и импульс, и… стоп! Больше в таком процессе не сохраняется ничего. Был спин половинка, а стали две половинки — у электрона и нейтрино. Был лептонный заряд единица, а стали две единицы — у тех же электрона и нейтрино.

Где же выход? Распад-то идет, да еще самый частый, самый, что ли, заурядный гость на фотопластинках!

А выход в том, что, как мы видим, одного нейтрино мало: надо добавить к появляющимся в распаде частицам еще антинейтрино. Тогда «антиспин» антинейтрино минус половинка и лептонный заряд его — минус единица немедленно погашают лишние половинку и единицу у нейтрино. И все становится на свои места.

Все ли? А почему родившиеся нейтрино и антинейтрино тут же не сливаются, не аннигилируют, подобно, скажем, электрону и

позитрону? Забегая вперед, отметим, что в данном случае это, видимо, невозможно: антинейтрино, скорее всего, служит античастицей «другому» нейтрино, чем тот, вместе с которым оно рождается при распаде мюона.

А частица и «чужая» античастица не аннигилируют никогда. Почему? Дело, видимо, в том, что кванты «своих» полей у такой пары разные. Тогда как при аннигиляции должны рождаться кванты одного и того же поля. По этой причине, в частности, электрон никогда не аннигилирует с протоном.

Ну, а если все же встретятся нейтрино и антинейтрино одного вида? Тогда, видимо, они должны слиться. Но во что, никто сегодня не знает. Как мы уже говорили, кванты — переносчики слабых взаимодействий — физике пока что неизвестны.

…Половинки, единицы, плюсы, минусы.

«Какая-то голая арифметика! Где же физика?» — может спросить разочарованный читатель. Он прав: «привычной» физикой здесь не пахнет.

И, наверное, никогда уже не будет пахнуть. Новые представления оказываются уже настолько далекими от привычных, старых, добрых, не один век служивших представлений, что возврата к ним нет и не может быть.

А эти новые представления неразрывно связаны с «математизацией» физики, с тем, что она принуждена оперировать сложнейшей математикой. Та «арифметика», на которую посетовал читатель, только внешняя сторона, некий видимый наглядно итог этих сложнейших математических операций.

Но дело не только в том, что выводы современной физики частиц, как правило, скрыты за лесом формул. Дело еще и в том, что физики, если перефразировать знаменитое изречение, знают много, но по сравнению с тем, что им предстоит узнать, это сущее ничто.

И поэтому истинный, «глубинный» смысл тех понятий, которые ввели физики в попытках классифицировать частицы и их взаимодействия, пока еще остается для них загадочным. Хотя, как мы увидим, даже это «полузнание» может привести их к серьезным успехам.

Многое ли вы знали в первом классе, скажем, о гиперонах?

Поэтому не стоит огорчаться за физиков в том, что они еще сидят в первом классе той школы, которая называется «природа». И еще учтите, что ни учебников, ни учителей у них нет; до всего надо доходить собственным умом.

Расскажем об одном понятии, очень важном для современной физики, — об изотопическом спине.

Попробуем на секунду вообразить себе мир без взаимодействий. Чудовищно нелепый мир! Вещество без поля, медаль без оборотной стороны! Интересно, как в нем выглядела бы наша таблица частиц?

Строго говоря, никак! В ней не было бы ни одной частицы. Мы уже не раз говорили, что частиц без взаимодействий не существует.

Но все же, поскольку мы фантазируем, вообразим, что в этом мире есть какие-то частицы, которые наделены одной лишь массой (гравитационное взаимодействие мы сохраним). Пусть этими частицами будут электрон и протон. Добавим к ним еще невесомое нейтрино.

Но наши протон и электрон, напомним, пока не имеют электрического и прочих зарядов. И блуждали бы эти частицы в мире, не в силах ни построить ядро, ни слиться в атом. Вот такой мир действительно был бы фантастически бедным.

Поскольку мы — в области фантастики, нам все позволено. Нажмем кнопку — и включим слабое взаимодействие. Появится мю-мезон — не более того.

Включаем следующее — электромагнитное взаимодействие. Теперь безотрадный мир стал светлее. Есть отчего: в нем появились заряды у частиц, возникли фотоны, появился нейтрон. Как по мановению волшебной палочки возникли позитрон и антипротон с антинейтроном, привилась античастица и у мю-мезона. Родился даже первый атом — атом водорода. Других атомов пока еще быть не может: протон с нейтроном еще не взаимодействуют, ядер образовывать не могут.

Теперь последнее нажатие кнопки — и мир заиграл всевозможными цветами. В него пришли мезоны и гипероны, начались разнообразные сильные взаимодействия.

Так не является ли все разнообразие частиц продуктом совместного действия всех четырех полей — гравитационного, слабого, электромагнитного и ядерного… На что? На некую «праматерию», состоящую из нескольких видов «проточастиц»! Эту мысль высказал американский физик Мэррей Гелл-Манн, а за ним ее стали разрабатывать многие ученые.

Каждое из этих полей как бы возбуждает «проточастицы». Словно, например, были какие-то лишенные заряда кусочки «праматерии» — условно назовем их электронами.

Гравитационное поле сообщило им массу, а электромагнитное — заряд, да еще двух знаков — положительного и отрицательного. А прибавилось к этим полям еще слабое взаимодействие, и электрон с позитроном возбудились и образовали мю-мезоны.

Или вот другой пример. В группу пи-мезонов попала нейтральная частица — пи-нуль. На роль «проточастицы» она, разумеется, не претендует: несмотря на отсутствие у нее заряда, она связана с электромагнитным полем — распадается, кончая жизнь, на кванты электромагнитного поля, фотоны. Да и, кроме того, пи-нуль сам квант: только ядерного поля, от которого и получает довольно приличную массу.

А рядом с нейтральным сосуществуют и заряженные пи-мезоны. Посмотрим на их массы: они отличаются от массы их нейтрального собрата. Электромагнитное поле словно «влилось» в них, добавило им энергию и тем самым массу. Не будь этого поля, можно было бы считать, что вместо тройки пи-мезонов существует только один «центральный» пи-нуль-мезон.

К слову сказать, электромагнитное поле может не только как бы «вливаться», но может и «выливаться» из заряженных частиц. Массы нейтральных ка-мезонов больше массы заряженных их родичей, нейтральный нейтрон массивнее заряженных протона и антипротона.

Никаких четких закономерностей тут пока не обнаружено, кроме сравнительной близости масс в каждой группе частиц.

Такое впечатление, что благодаря наличию электромагнитного поля каждая частица словно распускается в букет частиц с близкими массами.

Этот воображаемый букет и описывается изотопическим спином. Легко запомнить: если этот спин равен нулю, то из «исходной» частицы ничего не распустится (ее античастица будет тождественна ей самой); если половине, то две частицы: она сама и отличающаяся от нее античастица, с которой она сможет аннигилировать; если единице, то три частицы и так далее.

А что это за «исходная» частица? «Проточастица» из «праматерии»? Нет, мы уже говорили, что так считать нельзя. Например, нельзя за «исходную» в группе пи-мезонов принять пи-нуль-частицу: она сама своим существованием обязана ядерному полю. «Выключили» мы это поле — и исчез бесследно этот мезон.

О «проточастицах», или, как их лучше называть, фундаментальных частицах, у нас еще будет особый разговор. Изотопический спин имеет к ним отношение, но иное, чем то, о котором мы сейчас говорим.

Укажем еще, что к лептонам это понятие также неприложимо.

А в остальном изотопический спин работает вполне успешно,

не только помогая навести порядок в маленьких семьях (как их называют — мультиплетах) частиц, но и позволяя предсказывать еще неоткрытые частицы.

Почему же новое понятие так странно называется: какие-то изотопы, причем-то спин?

Оно названо так по двум довольно далеким ассоциациям.

«Изотопический», потому что частицы в каждой группе имеют весьма близкие массы. Словно это одна и та же частица, но в разных состояниях. Чем-то похоже на одно и то же ядро, но с разным числом нейтронов. А такие ядра и называются изотопами.

«Спин»… Помните наш рассказ об эффекте Зеемана? Из одной линии спектра в магнитном поле вырастал целый «букет» близких ей линий.

Эффект Зеемана удалось объяснить, предположив, что существует спин. Два или три «цветка», а в «букетах» частиц, как мы видели в нашей таблице, тоже только две или три частицы.

Далековата аналогия! Но сходства — даже пусть внешнего — оказалось «неизобретательным» физикам достаточным. Так и родилось на свет «нелепое» словосочетание — изотопический спин.

Впрочем, впереди нас ожидают совсем странные понятия!

О странных вещах

Никак мы не отойдем от нашей таблицы. Держит она нас на привязи!

А без нее нельзя. Она тот самый фонарик, в котором вместо батарейки работает фантазия физиков. Фонарик, с помощью которого приходится физикам пробираться в густейшем тумане. И нам по их стопам.

Теперь нас заинтересует столбец таблицы, озаглавленный очень занятно: «странность». Ну, не странно ли в самом деле? Каким неведомым путем попало это слово в обиход физики, такой точной в своих выражениях?

Что же может заслуживать такого названия в том мире, где все по меньшей мере весьма странно? Оказывается, и в этом мире творятся сверхстранные дела.

…Налетел энергичный протон на протон — возник обильный поток пи-мезонов. Полетели мезоны из ускорителя, влетели в пузырьковую камеру, где их поджидали другие протоны, — и начали рождаться новые частицы. Побежали на фотопленке

цепочки следов ка-мезонов и гиперонов.

Но решительно во всех случаях гипероны рождались только с ка-мезонами. Ни одна попытка родить их порознь не увенчалась успехом.

Физиков, конечно, заинтересовало: почему эти частицы не могут жить друг без друга? Ведь на рождение одного ка-мезона или одного гиперона порознь нужно затратить куда меньшую энергию, чем на их совместное рождение. Уж кто-кто, а экономная природа немедленно воспользовалась бы такой возможностью.

Если же этого нет, то ответ может быть только один: природа наложила запрет!

В те же годы было отмечено и еще одно любопытное явление. Образование пар из гиперонов и ка-мезонов происходило чрезвычайно быстро. Это не удивительно: взаимодействие налетающих пи-мезонов с протонами было типично ядерным, сильным. А как мы уже видели, для такого взаимодействия характерны времена порядка 10^{-23} секунды.

Казалось бы, новорожденные частицы, раз им суждено гибнуть, должны совершить это столь же быстро, как они появились на свет. Ничего подобного: новорожденные жили в триллионы раз дольше, чем им полагалось по закону сильных взаимодействий.

Странные вещи, заключили физики, раздосадованные непонятными запретами, которые природа наложила на одиночное рождение и быстрый распад ка-мезонов и гиперонов. Странные они частицы!

И перенесли этот эпитет на величину, которую придумали, надеясь понять столь удивительное поведение частиц. А само поведение частиц подчинили запрету, который назвали «закон сохранения странности».

Посмотрите в таблицу. У родителей старых частиц — пи-мезонов и протонов — странности равны нулю. А вот у детей — скажем, ка-нуль-мезона и ламбда-гиперона — странности уже отличны от нуля. Но сумма их по-прежнему равна нулю. В результате общая странность всех частиц при рождении не меняется, оно разрешено и идет быстрым ходом.

А вот одиночное рождение этих частиц состояться не может: странность при этом не сохраняется. Как бы цивилизованный человек ни был голоден, он не набросится на еду, не вымыв рук. Над инстинктом властвует более сильный рефлекс.

Так же, очевидно, поступает и природа в нашем случае. Она не набрасывается на более доступное по энергии одиночное рождение странных частиц. Но почему она «моет руки», никто

этого сегодня еще понять не может.

Впрочем, с самого начала было ясно, что из странного закона есть не менее странное исключение. Природа словно сквозь пальцы смотрела, как всеразрушающее слабое взаимодействие разваливало странные частицы, причем поодиночке. Как будто она была не в силах помешать этому развалу и могла только попридержать его.

Что же, закон сохранения странности нарушается при слабых взаимодействиях, меланхолично заметили ученые. Ничего другого нельзя было ожидать от странных частиц! В них бездна загадок, мало ли какие еще странности они обнаружат!

Загадка «тау-тета»

И обнаружили — не заставили себя долго ждать. Но справедливости ради надо заметить, что первую скрипку в этом деле все-таки играли не они, а еще более «странные» слабые взаимодействия.

Мы их назвали всеразрушающими. Действительно, они, как загадочная болезнь, поражают почти всех обитателей мира частиц — от легоньких мезонов до солидных гиперонов. По сравнению с «молниеносными» ядерными и «телеграфными» электромагнитными взаимодействиями эти совсем неспешны.

Но они подтачивают жизнь своих жертв так же медленно и неотвратимо, как вода точит камень. От них не защититься даже за высочайшими ядерными стенами. Они и там настигают нейтроны. И в результате из ядер льется поток электронов, нейтрино и их античастиц.

Каждая жертва слабого взаимодействия умирает по-своему. Легкие частицы выбрасывают из себя мю-мезоны, электроны, нейтрино. Гипероны превращаются в протоны, нейтроны, пи-мезоны. Но всегда эта картина смерти и рождения выглядит одинаково.

Однако нашлись частицы, которые вызвали немалый переполох в этом установившемся порядке. И конечно же, «странные ка-мезоны». Переполох начался чуть ли не с первых месяцев после их открытия.

Судите сами. Из одной лаборатории сообщают: «Сегодня, прожив примерно стомиллионную долю секунды, умер уважаемый ка-плюс-мезон. У него остались двое наследников — пи-плюс и пи-нуль-мезоны. Переданное им энергетическое

наследство оценивается приблизительно в двести пятьдесят миллионов электрон-вольт».

Другая запись: «Скончался ка-плюс-мезон. У него три наследника — два пи-плюса и один пи-минус. Оставленное наследство — около восьмидесяти миллионов электрон-вольт».

Сличили физики записи. Какой верить? «Обеим», — подсказал доброжелательный советчик. Физики возмутились: «Как это — обеим?» Не может такая частица, как ка-мезон, распадаться на два или на три пи-мезона! Либо — либо. И никаких разговоров на эту тему быть не может. Это две совершенно разные частицы.

А чтобы никто никогда их не смешивал, даже нарекли по-разному. Одну — тета-мезоном, другую — тау-мезоном. Нарекли, разобщили, а сами поеживаются: массы у обеих частиц совершенно одинаковые. Не бывало до сих пор случая, чтобы частицы с одной и той же массой имели столь разные свойства!

…Когда-то, еще на заре квантовой механики, было замечено, что свои «облака вероятности» электроны в атоме строят по-разному. Иной атом донельзя доволен — рассматривает себя в зеркале так и этак, и все похож. А другой от природы малость перекошен — и в зеркале этот перекос с правой на левую сторону съехал. «Ну, погоди», — сказал один атом другому и плюнул… фотоном. И стал красив — на загляденье!

Конечно, это шутка. Но в ней есть доля правды. Представьте себе на минуту человека с идеально симметричным лицом — даже Аполлон позавидовал бы ему. Поставьте его перед зеркалом и переводите взгляд то на его лицо, то на изображение в зеркале. Ни малейшего отличия вы не заметите.

Можете даже развлечься. За спиной «сверхаполлона» установите второе зеркало, и как в парикмахерской увидите ряд все уменьшающихся изображений «зеркала в зеркале».

А теперь станьте перед зеркалом сами. Почти наверняка вы не только не «сверхаполлон», но даже и не Аполлон. Причин тому может быть много. И одной из них, возможно, будет та, что кончик вашего носа немножко скошен в сторону. Если же вы настолько уверены в собственной неотразимости, что не допускаете даже мысли о скошенном носе, то тогда лучше всего на одной щеке нарисовать небольшое пятнышко.

Нарисовали вы его, скажем, на правой щеке — в зеркале оно очутилось на левой, а «в зеркале в зеркале» — снова на правой. И так до бесконечности. Нечетное число отражений в зеркалах все время будет переносить пятно на другую щеку.

Физик скажет, что ваше лицо нечетно: нечетное число отражений меняет его вид. Лицо же «сверхаполлона» он, в

противоположность вашему, назовет четным: сколько бы его ни отражать, оно не изменит своего вида.

Если вы здраво смотрите на несовершенства собственного носа, то немедленно получаете в союзники фотон. Его «физиономия», то есть облако вероятности, явно несимметрично. Потому-то и смог атом сыграть фокус в нашей шутке: избавился от нечетного фотона и стал четным.

И вообще, в разговоре о четностях справедливо известное старинное правило: минус на минус дает плюс. Если частица распалась на две нечетные частицы, то она четная, плюсовая; если на три: минус на минус, на минус, то она нечетная, минусовая. Быть и той и другой одновременно она не может, как не может урод быть одновременно писаным красавцем.

Пи-мезон оказался нечетной частицей. Из-за этого-то и разгорелся сыр-бор. Допустить, что ка-мезон, распадаясь и на два, и на три пи-мезона, может быть одновременно четным и нечетным! Да это же означает, что у природы кривое зеркало: правое отличается от левого! Вот что заставляло физиков упорствовать в признании «единого и неделимого» ка-мезона.

…Вы никогда не задумывались над тем, почему наиболее выдающиеся открытия в большинстве своем делаются весьма молодыми людьми? Эварист Галуа создал основы современной алгебры, когда ему не было и двадцати лет; Френель и Юнг разработали волновую теорию света еще до тридцати лет; столь же молоды были Альберт Эйнштейн, в двадцать шесть лет создавший теорию относительности, Гейзенберг и Дирак, заложившие основы квантовой механики! А ведь двадцатилетний ум еще далек от той зрелости, которая приходит лишь к тридцати — сорока годам.

Но у двадцатилетних умов есть одно важное преимущество перед зрелостью: свежий, не замутненный многолетней работой (а в ней всегда немало рутины) взгляд на вещи. Пусть не хватает широты, зато в избытке дерзость! Самое невероятное пленяет ум. И чем вернее ход мысли подтверждает возможность невероятного, тем с большей храбростью идет молодой ученый вперед. Он с легкостью неведения ломает догмы, к которым привыкли его современники. Новые представления не умещаются в тесных рамках!

Так бывает не каждый день. Но так случилось на этот раз. Основы физики были потрясены двумя молодыми китайцами, работающими в США, — Ли Цзун-дао и Янг Чжэнь-нином. Это произошло в 1956 году.

В самом деле, почему бы не допустить, что у природы кривое зеркало, что левое отличается от правого? Не доказывать с пеной у рта, что это не так, а спокойно поговорить. И еще лучше — попытаться проверить. Очень «странные» они, эти слабые взаимодействия!

Но проверить уже не на тау- и тета-мезонах. Они мало подходят для этой цели: живут чуть ли не миллиардные доли секунды, да и попадаются не так уж часто. Лучше взять какое-нибудь другое, не такое быстрое, но зато хорошо изученное явление, виновником которого являются слабые взаимодействия.

Например, бета-распад, тот самый распад, когда из ядер летят электроны.

Но неужели никто никогда не замечал в нем такой «странности», как нарушение четности? «Представьте себе, нет, — отвечали молодые физики. — Не замечали, потому что не искали. Это явление тонкое, в глаза оно не бросается. Рекомендуем поискать».

А в чем оно должно проявиться? Ли и Янг посчитали и ответили так. Если сложить все спины протонов и нейтронов в ядре, то получится суммарный спин. Наподобие того, как атомные магнитики, складываясь в намагниченном куске железа, образуют большой магнит. Так вот, при бета-распаде в том направлении, куда указывает спин ядра (а попросту, куда направлена «ось вращения» ядра), должно вылетать меньше электронов, чем в противоположном направлении.

Ну, казалось бы, это давным-давно заметили бы! Ничуть не бывало! Во всех радиоактивных веществах, с которыми имели дело, спины ядер направлены как попало. Совсем так, как атомные магнитики в ненамагниченном веществе. Поэтому и электроны в среднем летели одинаково густо по любому направлению.

Ага! Значит, теперь надо все ядра выстроить как на параде — в затылок друг другу. Только так можно проверить предсказание Ли и Янга.

Очень нелегкая задача! Но результат предсказывался такой, что ради него стоило преодолеть и большие трудности.

За дело взялась большая группа экспериментаторов. Ее возглавили ученица Сегре китаянка Ву Цзянь-сюн и Эрнст Эмблер. Они поделили обязанности так. Эмблер должен был дать ядрам команду «смирно», а Ву — смотреть, что при этом произойдет с испусканием электронов.

Ядра существа резвые. В первую очередь нужно было поубавить их пыл. С этой целью радиоактивное вещество охладили до сверхнизкой температуры — всего лишь на сотые доли градуса выше абсолютного нуля. А затем поместили в сильнейшее магнитное поле. И, наконец, окружив всю установку счетчиками частиц, измерили, сколько электронов летит «по спину», а сколько «против спина».

Опыт готовился полгода. Опыт длился четверть часа. Этой четверти часа оказалось достаточно. Все получилось так, как предсказали Ли и Янг!

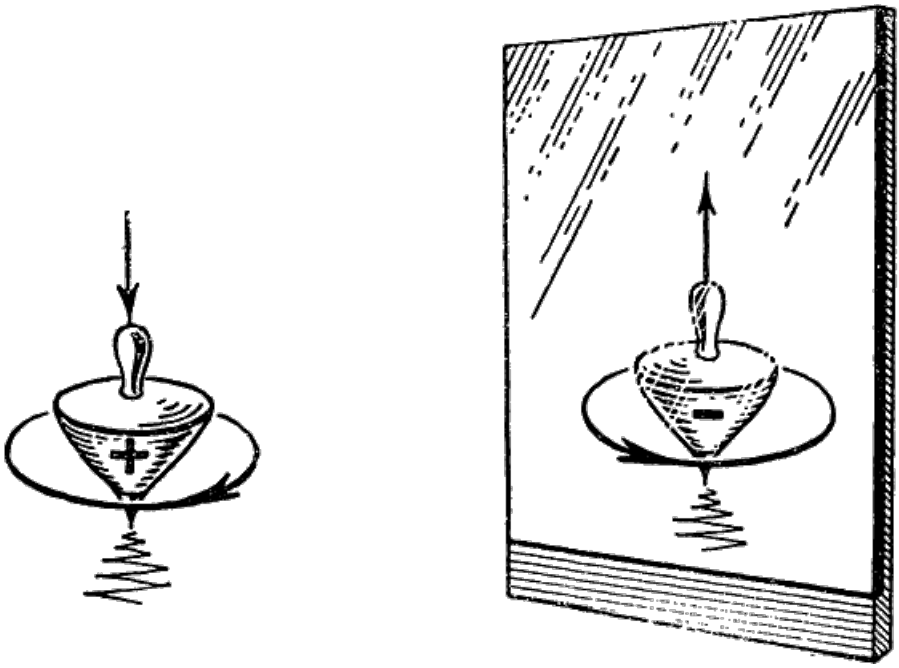
У природы в самом деле кривое зеркало! По крайней мере там, где присутствуют слабые взаимодействия.

Это было действительно потрясением! Нарушался один из самых очевидных законов природы: левое отличается от правого, верх от низа. Как это понять, как с этим примириться? Примириться придется. Факты — вещь чрезвычайно упрямая.

А понять… Понять — труднее. Дело в том, что здесь все не так просто, заявил вскоре после решающего опыта знаменитый советский физик Лев Давидович Ландау. Нарушается не только четность. У природы зеркало устроено хитрее, чем мы думали.

Отразите в этом зеркале протон. Вы думаете, что «по ту сторону» будет протон? Нет, там будет его зеркальный брат — антипротон! При отражении в зеркале природы частица заменяется античастицей.

И не приближайтесь к зеркалу, уважаемый протон, чтобы получше разглядеть свое отражение. Иначе кончится тем, что не останется ни вас, ни вашего зеркального брата!



Протон и его «зеркальное отражение» — антипротон.

Но читатель может не бояться даже сплющить собственный нос о зеркало. И он не подвержен слабым взаимодействиям, и зеркало иное — построенное руками человека, а не природы.

Да, кроме того, в зеркало и из него летят всего лишь фотоны. А для них, как мы уже видели в таблице, античастица ничем не отличается от частицы. Сколько ни встречайся они друг с другом — аннигиляции, взрыва не будет.

Так новым поразительным открытием и разрешилась загадка «тау-тета».

Элементарные частицы — предел делимости?

При путешествии по этой книге вы не раз встречали эпитет «элементарный», которым физики до недавнего времени наделяли частицы. Что под этим подразумевали ученые?

Прежде всего им представлялось до недавних пор, что эти частицы — как бы предел дробления вещества на части. Путешествуя по лестнице энергий, мы уже убедились в том, что, повышая энергию, можно было раздробить вещество на все более мелкие кусочки. Та же органическая молекула при нагревании

сначала разбивалась на крупные блоки, эти блоки затем превращались в «пыль» из отдельных мелких молекул, молекулы дробились на атомы.

Еще немногим более полувека назад и атом был пределом делимости. Потом, повысив энергию, раздробили и его. Неделимый («атом» — по-гречески и означает «неделимый») оказался делимым. И, если бы не языковое неудобство, можно было бы предложить переименовать его в «том». (И получить, например, такие перлы, как «томная энергия» и «том железа»!)

После этого рубеж неделимости пролег по границам ядер. Но и здесь он был в считанные годы преодолен физикой. Тогда его отодвинули на рубеж частиц.

В книге, изданной пять лет назад, я читаю: «Элементарные частицы — это такие тельца, которым пока что нельзя приписать никакой внутренней структуры». Что ж, правильно по тем годам. И, казалось бы, правильно вообще: если припишешь внутреннюю структуру, то изволь признать еще более мелкие частички, из которых и образована эта самая структура!

Все, однако, оказалось не так-то просто. С самого начала выяснилась интереснейшая особенность: частицы превращались друг в друга. Ударили по протону энергичным пи-мезоном, чтобы расколоть протон на кусочки. Он и раскололся — на ламбда-гиперон и ка-мезон. Но можно ли считать их «кусочками» протона? Вряд ли: ламбда-гиперон и массивнее протона и сам распадается, образуя протон. В равной мере и ка-мезон нельзя считать осколком протона.

Хорошо, по весу дробление не проходит. Может быть, оно пройдет по размерам? А что такое размер в атомном мире? Квантовая механика не без оснований лишила частицы такой «расплывчатой» характеристики.

Помните, мы рассказывали, как гамма-фотон пытался высмотреть частицу, чтобы установить, как она движется? Ничего у него не вышло. И выйти не могло: со всякой частицей связана волна де-Бройля, которая размазывает частицу по пространству. Теперь уже не частица с четкими границами, а «облако вероятности» без всяких границ, без всяких определенных размеров.

Так… Частицы не имеют четких размеров. Частицы превращаются друг в друга… Физики постепенно, год за годом, пришли к убеждению, что говорить о дробимости или элементарности частиц совершенно бессмысленно. Но они не оставили надежды узнать о структуре частиц, вкладывая теперь в слово «структура» совершенно иной смысл.

Как частицы испускают кванты своих полей? Как частицы

поглощают эти кванты от других частиц? Структура частиц определяет все взаимодействия, в которых они участвуют. Но и сами эти взаимодействия определяют структуру частиц. Получается как бы заколдованный круг!

Да, заколдованный круг, из которого до сегодняшнего дня еще не могут выбраться теоретики. Здесь, видимо, нужен какой-то принципиально новый подход, и тогда из этого круга, возможно, найдется выход.

Пока что экспериментаторы высмотрели… нет, не широкий, ясный выход, а некую узенькую щелочку. И, разумеется, в эту щелочку тут же засунули свой любопытный нос теоретики.

И то, что им удалось разнюхать за самые последние годы, вселило в сердца охотников за частицами большие надежды. Надежды навести какой-то достаточно убедительный порядок в мире частиц. То, что ускользало от физиков год за годом, как будто бы, наконец, удалось схватить.

Таинственные «резонансы»

Но расскажем по порядку. Дело началось тринадцать лет назад. Среди обильных трофеев, которые принесло физикам начало пятидесятых годов, среди всех этих мезонов и гиперонов, обнаружились какие-то весьма странные образования. Частицы? Нет, у тогдашних ученых как-то язык не поворачивался назвать их частицами.

Судите сами. Получил исследователь с помощью ускорителя лавину очень энергичных протонов. Бросил он эту лавину на мишень, помещенную внутри ускорителя и содержащую в своем составе протоны. И полетел во все стороны от мишени сноп новых, только что рожденных частиц. А среди них очень много пи-мезонов.

Отсеял исследователь из этого снопа все частицы, кроме пи-мезонов, и бросил эти пи-мезоны на вторую мишень, тоже содержащую протоны. Как будут сталкиваться пи-мезоны с протонами? Что при этом произойдет?

Что ж, это мы уже знаем: в неуловимо короткий миг встречи пи-мезонов с протонами они дадут жизнь целому ряду новых частиц; среди них — и более массивные ка-мезоны, и гипероны. Пролетят новорожденные частицы через камеру Вильсона или пузырьковую камеру, оставят в ней свои следы, будут с ними в камере разнообразные происшествия. И по этим следам пройдут

охотники за частицами, узнают о том, что появились неведомые обитатели заповедного леса.

И всё? Оказывается, нет, не всё. Рождение новой частицы — вещь, конечно, очень приятная, но, что ни говори, редкая. Куда чаще после встречи с протонами пи-мезоны просто лишь меняют направление своего полета — рассеиваются в разные стороны. И нередко, если пи-мезоны обладают достаточной энергией, то возле протонов рождают своих собратьев. В снопе пи-мезонов появляются новые колосья.

Физики, разумеется, заинтересовались этим рассеянием: оно обещало пролить свет на природу сил, которые действуют между пи-мезонами и протонами при их сближении. Эти силы, как мы уже говорили, самые сильные силы на свете.

Они-то и обеспечивают колоссальную прочность атомных ядер.

Вначале это рассеяние как будто подтверждало самые общие догадки физиков. С ростом энергии пи-мезонов рассеяние их протонами все более ослабевало. Это и понятно: чем быстрее летит пи-мезон, тем меньше времени проводит он возле протона. Значит, тем меньше вероятность, что за это время обе частицы успеют обменяться крепкими «рукопожатиями». А значит, менее вероятно и то, что в результате более легкий из них пи-мезон сильно отлетит в сторону от своего первоначального пути.

Но тут же начались и неожиданности. При определенной энергии пи-мезонов рассеяние вдруг сильно возрастало. А затем, при дальнейшем повышении энергии мезона, оно снова приходило в норму. На рисунке, изображающем зависимость рассеяния от энергии мезона, появлялся небольшой горбик.

Первый горбик увидел в 1952 году уже известный нам неутомимый охотник за частицами Энрико Ферми. Посылая пучок пи-мезонов, рожденный в ускорителе Калифорнийского университета, на вещество, содержащее много протонов, Ферми заметил, что при энергии мезонов примерно в двести миллионов электрон-вольт они начинали вдруг очень сильно рассеиваться протонами.

Впечатление было такое, как будто качаешь маятник рукой. Вначале, пока толкаешь его редко и слабо, размах маятника невелик. Но, даже не усиливая толчков, а лишь учащая их, в какой-то момент добиваешься очень больших колебаний. А будешь подталкивать маятник еще чаще — и все пропадет. Причина этого известна давно: нащупал случайно собственную частоту колебаний маятника, и он ответил резонансом.

Все резонансные кривые имеют один и тот же вид. Неважно, описывают ли они размах колебаний маятника в зависимости от

частоты толчков его, или слышимость, когда антенна радиоприемника настраивается в резонанс с частотой далекой радиостанции, или же когда с помощью оптического прибора физик нащупывает спектральную линию света от какого-либо химического элемента.

Этот вид всегда таков: на плавно идущей кривой вдруг возникает холм. Потому и горбик на кривой рассеяния пи-мезонов физики окрестили условно резонансом. В те годы казалось, что это лишь не более, чем внешняя аналогия. Да и к тому же совершенно загадочная.

В самом деле, о чем мог говорить горбик на кривой рассеяния? Раз частица рассеивается сильнее, значит, она больше времени проводит по соседству с протоном. Словно замедлила свой фантастически быстрый, почти со скоростью света, полет, чтобы получше разглядеть своего массивного родича.

На сколько же задерживается мезон около протона? Горбик на графике позволяет это прикинуть. Но только прикинуть — никакими часами этого не измерить. Размер (конечно, как мы помним, чисто условный) протона — порядка 10^{-13} сантиметра, скорость полета пи-мезона — порядка 10^{10} сантиметров в секунду. Значит, пи-мезон пролетает мимо протона примерно за 10^{-23} секунды.

Эта цифра нам известна: она дает порядок времени сильных взаимодействий. Так оно и должно быть: между протоном и пи-мезоном — квантом ядерного поля — существует именно сильное взаимодействие.

Так вот, «резонансный» пи-мезон задерживается около протона на время того же порядка — те же 10^{-23} секунды. И лишь, может быть, это время в два-три раза больше, чем для мезона с соседней, нерезонансной энергией. Точнее определить время задержки нет никакой возможности, известен лишь его порядок величины.

Но нам важно сейчас, что такая задержка все же происходит. Что там делают обе частицы в этот ничтожный промежуток времени? Сливаются, слипаются? — спрашивают друг друга физики.

Неясно, отвечают теоретики, но почему-то при этом появляются новые пи-мезоны. Впрочем, это, возможно, тот самый случай, когда энергия ядерного поля материализуется в виде новых квантов этого же поля. Виртуальный процесс, но с самыми реальными последствиями!

Занавес приподнимается

И вот экспериментатор появляется в кабинете теоретика. Оторванный от тяжких раздумий теоретик как будто недоволен.

— Итак, чем могу служить?

— Да вот, получил я новую кривую рассеяния пи-мезонов на протонах. А вот и еще одна: это я пустил на протоны пучок ка-мезонов. Трудно, знаете ли, было. Ка-мезоны — редкие гости. Намучился, пока закончил опыт.

Но что теоретику до каторжного труда экспериментатора!

— Ну и что, есть что-нибудь новенькое?

— Да вот, видите ли, опять эти горбики…

Теоретик рассматривает кривую рассеяния, построенную экспериментатором.

— Да, опять эти резонансы. И довольно много их… Впрочем, знаете что? Присаживайтесь-ка. Мне тут одна идейка в голову взбрела. Давайте-ка потолкуем.

Экспериментатор покорно садится. Не очень-то он любит, когда теоретик проверяет на нем свои заумные идеи. Но довольно часто оказывается, что теоретический «бред» удивительно хорошо объясняет факты, добытые на опыте, и правильно подсказывает экспериментатору, где и что нужно искать. Так что все-таки интересно узнать…

— Так вот, слушайте. Мне пришло в голову, что ваши горбики на кривых, это… новые частицы!

Такое действительно не каждый день услышишь! Экспериментатор изумлен.

— Да, да, не изумляйтесь. Вот вы сами скажите, что такое частица, по вашему мнению?

— Частица? Гм… Ну, как вам это сказать… Ну, вот, скажем, электрон. Он имеет массу, заряд, кроме того, спин. И еще вот что: он устойчив.

— Хорошо. А, скажем, мю-мезон? Он тоже имеет заряд, массу, спин… только живет миллионную долю секунды. Так что же, разве это не частица?

— Нет, почему же, частица.

— А ка-мезон: он живет еще в сотни раз меньше? А гипероны — они еще в сотню раз быстрее распадаются? Они тоже частицы?

— Мы полагаем — частицы.

Теоретик словно передразнивает:

— «Мы полагаем»! Тогда почему же мы — и я в их числе — не можем допустить, что ваши «резонансы» — это тоже частицы, только совсем уж мгновенно исчезающие? Живущие еще в триллион раз меньше, а потому и необнаружимые!

— Гм, собственно говоря, дело для нас именно в этом. За

триллион-триллионную долю секунды своей жизни ваша «частица» никуда не уйдет, никакого следа не оставит.

— А для того чтобы вы поверили в частицу, вам обязательно нужно, чтобы вы увидели оставленный ею след?

— Ну, в общем, это как-то привычней.

Теоретик торжествует:

— Вот то-то и оно — привычней…

Но экспериментатор далеко еще не убежден.

— Погодите, а где масса, заряд, спин у вашего резонанса?

— Не беспокойтесь, все есть. Масса — это та самая энергия пи- или ка-мезона, при которой вы видите «резонанс» на кривой. Ведь массу можно получить из величины энергии по старой формуле Эйнштейна. Есть и заряд — только прямо вы его не измерите: слишком мало живет частица. А об измерении спина и говорить нечего. О том и о другом можно судить лишь по тем частицам, которые родятся в момент смерти вашего «резонанса».

— А! По тем дополнительным частицам, которые у меня появляются в рассеянном пучке мезонов.

— Вот-вот.

— Но, погодите, раньше ведь думали, что эти «резонансы» — лишь на мгновение слипшиеся новые частицы. Ну, например, два или три пи-мезона или, скажем, ка- и пи-мезоны.

— Ну и думайте себе на здоровье! От этого ведь ничего не изменится. А я могу думать, что это совершенно новые частицы. Причем вникните: эти частицы породило поле, которое само родилось от этих частиц.

Экспериментатор улыбается:

— Ну, этим вы меня не удивите. «Круговорот поля и вещества в природе» — это я и сам знаю. Вы вот предскажите из своей идеи новые, еще не открытые резо… то бишь, частицы. Найдут их, вот тогда я вам поверю.

— Об этом я сейчас и думаю.

— И придумали?

— Как будто что-то проясняется… Вот смотрите, есть у вас ядра какого-либо элемента, и бомбардируете вы их, скажем, протонами достаточно большой энергии. А затем изучаете, как эти протоны рассеиваются.

— Об этих опытах мир уже тридцать лет знает. Они во всех учебниках физики описаны. Сами читали.

— Верно — читали. Да не вникли. Есть там горбы на кривых рассеяния?

— Сколько угодно. Но ведь эти горбы отвечают тому, что ядро, проглотив протон и с ним солидную энергию, перешло в возбужденное состояние. А потом оно выбросило, например,

протон и гамма-фотоны и что-нибудь еще и вернулось обратно в исходное состояние. А протон при этом потерял часть энергии и полетел в сторону — рассеялся.

Теоретик улыбается:

— Вижу, дело мы знаем. Ну, а сколько времени ядро живет в возбужденном состоянии?

— По-разному. В одном состоянии — миллиардные доли секунды, в другом — уже тысячные. Все зависит от состояния. И лишь в нормальном, самом низком по энергии состоянии, неограниченное время. Да что это вы меня экзаменуете?

— Нет, это не экзамен. Я просто подвожу вас к главной мысли. А что, если все эти неустойчивые частицы и те, что вы считаете частицами, все эти гипероны, и те «резонансы», которым вы отказываете в праве на такое название, что, если они есть возбужденные состояния нескольких основных частиц?

Теперь экспериментатора прóняло.

— Вот это мысль! Замечательная мысль. Возбужденное состояние — большая энергия, и, значит, большая масса, и чем более возбуждено состояние, тем меньше времени частица живет в нем! Здорово! Но… Простите, а как вы устанавливаете родственные связи между «резонансами» и частицами? Ну вот этот резонанс — тот самый, что открыл Ферми, — возбужденное состояние какой частицы он собой представляет?

Теоретик разводит руками к вящему разочарованию собеседника.

— Пока трудно сказать. Материалу мало. Надо еще досконально узнать, на какие частицы распадаются этот и другие «резонансы»; узнать все их «устойчивые» признаки — массу, барионный заряд, электрический заряд, спин, изотопический спин, странность — и даже четность. А вот уже после этого можно толковать…

«Резонансы» получают гражданство

Автор не зря привел этот вымышленный разговор. Описанная в нем идея сыграла важнейшую роль в деле классификации обитателей микромира. К переписи наряду с «настоящими» частицами на полных правах были допущены и «резонансные».

Продукты их распада? И тут обнаружилось интересное свойство «резонансных» частиц: они могли подчас распадаться многими различными путями. Чем-то похоже на бассейн со

многими трубами, расположенными на разной высоте, в который вместо воды наливается энергия.

Влились, скажем, по двум трубам энергии пи-мезона и протона, а в две или три другие трубы ускользнули два или три новых пи-мезона. А еще больше энергия налетевшего пи-мезона, и уровень энергии в бассейне может подняться до такой трубы, через которую эта энергия «выльется» в виде уже ка-мезонов. А когда уровень энергии оказывается на такой высоте, где нет труб, эта энергия уходит по той же трубе, по которой пришла, в виде того же пи-мезона.

«А то, что труб много, — это хорошо! — заключили физики. — Можно устроить перекрестный допрос новорожденных частиц и кое-что надежно узнать об их родителях».

И действительно, многое узнали — в первую очередь, те самые «устойчивые» признаки, по которым должна вестись классификация. Но теоретики даже и не ожидали, пока им «на блюдечке» поднесут весь необходимый материал. Спотыкаясь, ошибаясь, они все же шли тернистой дорогой, и на ней нередко опережали экспериментаторов.

Вспомним изотопический спин. Он позволил близкие по массе частицы классифицировать как разновидности одной и той же частицы. Этим был сделан первый шаг к внесению порядка в перепись частиц.

Теперь предстояло делать следующий шаг — объединять эти «изотопические мультиплеты» в более крупные группы, «супермультиплеты». Тут уже один лишь изотопический спин помочь не мог.

Трудность состояла не только в том, что еще не были окончательно выяснены «семейные отношения» среди частиц. Не было также никаких сведений о том, из скольких членов должна состоять каждая «семья». Экспериментаторы мало что могли сказать по этому поводу. Впрочем, с самого начала было ясно, что существуют по крайней мере три достаточно обособленные друг от друга разновидности «семей» — лептонные, мезонные и барионные. Это нашло отражение и в таблице переписи частиц.

Относительно лептонных семей физики и по сей день ничего сказать не могут. Вся группа лептонов малочисленна по сравнению с такими «кланами», как мезоны и барионы. Казалось бы, поэтому в ней легче разобраться.

Ничуть не бывало! Как ни парадоксально, физики до сих пор не могут вообще понять, почему существует эта группа «в легчайшем весе». Все известные им законы микромира не позволяют даже допустить ее существование!

Конечно, лептоны не перестанут существовать оттого, что

физикам они совершенно непонятны. Очевидно, здесь действует какая-то очень глубокая и важная закономерность. И почти наверняка прорыв в эту область в ближайшие годы принесет физикам новое поразительное знание.

А вот в гораздо более многочисленных группах «полутяжелого веса» и «тяжеловесов» сегодня дело обстоит более обнадеживающе. Разумеется, многочисленность этих групп, включение в них «резонансов» нисколько не облегчили задачу теоретиков.

Помог здесь удачно найденный способ пасьянса, а новые «карты» оказались весьма кстати в том, что заполнили многие пустые места в «колоде». Этот новый метод классификации частиц получил условное название «восьмерок».

Итак, единицы, двойки и тройки нам уже известны — это обычные мультиплеты частиц с изотопическим спином нуль, половинка и единица. О восьмерках нам и предстоит дальнейший разговор.

До сих пор мы рассказывали о классификации частиц по таким признакам, как масса, электрический заряд, барионный заряд, обычный и изотопический спины. Но она никак не удавалась.

«Не те признаки!» — решили в 1961 году уже известный нам Гелл-Манн и израильский ученый Нееман. Надо выбросить из игры все признаки, оставив лишь изотопический спин и странность.

Тогда останутся четыре величины. Не удивляйтесь: сам изотопический спин — величина сложная, она состоит из трех величин. Вам придется это принять на веру: объяснять это слишком сложно.

Итак, в распоряжении теоретиков четыре величины. Что с ними делать? Добавить к ним еще четыре!

Это очень смело. Работать одновременно с четырьмя величинами, да еще имеющими столь туманный физический смысл, и так нелегко, а тут еще к ним прибавляется столько же новых. И смысл их еще более темный. Ясно лишь, что они имеют значение в некотором роде спина, но не спина обычного, и не спина изотопического. Даже названия новой четверке величин физики еще не придумали.

Становится восемь величин. Но наши теоретики знают как будто бы, что делают. Эти восемь величин выбраны ими не случайно.

Они образуют очень интересную группу. Математики называют ее группой унитарной симметрии третьего порядка.

За этими «темными» словами кроется очень важное свойство: входящие в такую группу величины определенным способом взаимосвязаны, могут переходить друг в друга. Иначе говоря, если в такой группе каждая комбинация всех восьми величин связана с некоей частицей, то все семь остальных комбинаций отвечают таким частицам, которые связаны с первой общим происхождением! Тогда, исходя, например, из известных масс одних частиц в группе, можно предсказывать массы других, еще не открытых частиц в той же группе.

К этому и велась вся работа, «ни капли не пахнущая физикой», но до предела насыщенная сложнейшей математикой.

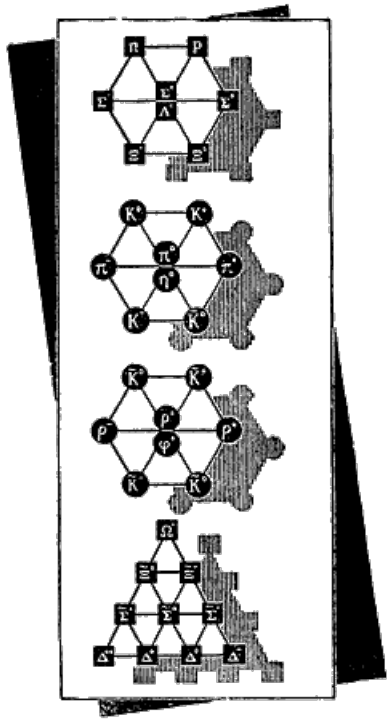
А с группами величин математики уже умеют работать. В том числе и с той группой, что называется группой унитарной симметрии.

Итак, в каждой такой группе восемь величин, восемь разных частиц, связанных тесными родственными отношениями. Какие же это частицы? А это уже можно достаточно определенно установить.

Вот, например, группа мезонов. В ней три пи-мезона и четыре ка-мезона — всего семь. А нужно восемь: того требует восьмеричная группа. И она же предсказывает свойства этого недостающего восьмого мезона: спин нуль, электрического заряда нет, изотопический спин, понятно, тоже нуль, чтобы частица была одна-одинешенька, масса примерно 1100 электронных масс.

И в том же 1961 году, когда было сделано предсказание, экспериментаторы обнаружили этот мезон. Все оказалось так, как предрекли теоретики! Вплоть до величины массы: она оказалась равной 1080 электронным.

Те из ученых, которые приняли вначале мысль Гелл-Манна более чем прохладно, теперь бросились по его пути. В течение последующих двух лет с помощью новооткрытых «резонансов» была построена вторая восьмерка мезонов. Известные же барионы, как видно из рисунка, сами, «без нажима», уложились в восьмерку.



А затем настала очередь «резонансов» с массами, почти в три тысячи раз превышающими массу электрона. К тому времени теоретики выяснили, что в этой группе должно быть уже не восемь, а десять частиц. В изменении этой численности повинен спин: все частицы в этой группе должны иметь спин не половинку, а три вторых.

Кстати говоря, это были первые открытые частицы со спином, превышающим единицу. Частицы в группе должны были расположиться уже не шестигранником, а треугольником. Первый его этаж образовывали четыре дельта-гиперона, второй этаж — три «резонансных» сигма-гиперона (более тяжелые, чем «обычные» сигма-гипероны, они, в отличие от первых, обозначены в таблице переписи цифрами при символе, а тот же символ подчеркивает, что они родственники «обычным» сигма-гиперонам). Третий этаж должны были заселить два кси-гиперона (тоже с номерами, чтобы отличить их от «обычных», более легких родственников), и крышу… а крыша пустовала! Домик резонансных гиперонов, оказывается, стоял недостроенным.

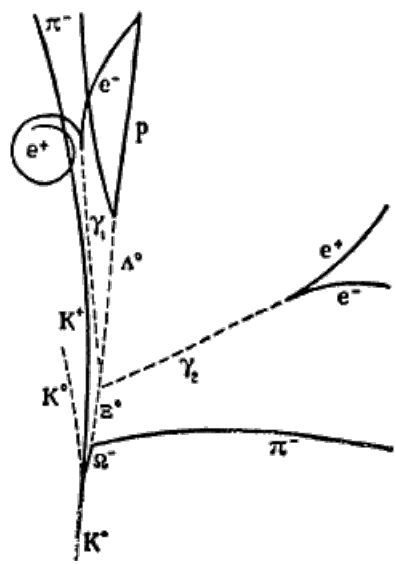
Когда Гелл-Манн в 1962 году начал разбираться в этой «десятке», он сразу обратил внимание на это обстоятельство. И не только обратил внимание, но и попытался рассчитать свойства частицы, которую следовало поселить на крыше. Эта частица, как и ее поселившиеся ниже соседи, должна была оказаться со

спином $^3/_2$. Кроме того, она должна была иметь отрицательный электрический заряд, изотопический спин 0, наподобие найденного ранее эта-мезона с массой 1080 электронных. Но вот масса нового гиперона, который Гелл-Манн окрестил омега-минусом (Ω^-), должна была составлять уже не 1080, а почти 3300 электронных масс!

И, что еще очень важно, эта частица должна была быть не «резонансной», а «настоящей». Ей предсказывалось время существования, обычное для гиперонов, — примерно десятимиллиардные доли секунды.

Но это же означало, что омега-гиперон можно искать! Он за время своей недолгой жизни оставит все же где-нибудь след. Например, в пузырьковой камере, установленной поблизости от места его рождения.

И эксперимент по поимке новой частицы начался. Нелегкий эксперимент. Протоны следовало бомбардировать ка-мезонами, причем очень внушительной энергии — не менее десятка миллиардов электрон-вольт. Ка-мезоны сами по себе редкость, на многие тысячи пи-мезонов они попадаются чуть ли не поштучно. А тут надо было с помощью такой редкости добыть еще большую частицу, которая, несмотря на гигантскую работу физиков, все еще ни разу не показалась им на глаза.



Эксперимент по поимке омега-гиперона длился около года. И, наконец, в начале 1964 года, после просмотра почти ста тысяч фотографий, снятых в пузырьковой камере, на одной из них удалось обнаружить долгожданное уникальное явление. Эта

фотография на стр. 247. А рядом с ней — схема, позволяющая разобраться в путанице следов частиц на фотопленке.

…И тузы

Так… Новый пасьянс на сей раз увенчался солидным успехом. Не случайно открытия новой частицы физики ожидали, по словам одного из них, «словно присутствуя в тот момент, когда яблоко падало к ногам Ньютона».

Неужели открытие омега-гиперона имеет такое же значение, как открытие Ньютоном всемирного тяготения, о чем повествует известная легенда о яблоке? Мы далеки от того, чтобы сравнивать эти два события. Но все же открытие предсказанного заранее омега-гиперона составляет эпоху в физике частиц.

Впервые в физике микромира появляется убедительная система новых частиц. Впервые их перепись приобретает очертания законченности, порядка. И это должно сыграть не меньшую роль, чем для химии и физики — открытие Менделеевым периодического закона химических свойств атомов.

Эта аналогия не случайна. Еще до Менделеева делались попытки свести в какую-то систему свойства химических элементов. Один из химиков того времени нащупал тройки близких по свойствам элементов, например тройку из лития, натрия и калия (только спустя много лет выяснилось, что на самом деле это не тройка, а шестерка: к ней добавились еще три более тяжелых химических элемента). Другой расположил элементы по восьмеркам так, что в следующей восьмерке элементы повторяли химические свойства предыдущей. Это уже было ближе к истине. И лишь гениальная догадка Менделеева свела воедино эти разрозненные попытки в замечательную систему.

В современной физике частиц наблюдается нечто подобное. Сначала единицы, двойки и тройки изотопических мультиплетов. Затем восьмерки и десятки супер-мультиплетов. Что же последует дальше?

Не надо придавать особого значения «магии» чисел. Из того, что восемь — ключевое число периодической системы химических элементов (восемь типов валентности), вовсе не следует, что оно столь же «магическое» число и в мире частиц.

Разные миры — разные законы.

Объяснить химическое значение восьмерки смогла квантовая

механика. Именно она доказала, что на самой внешней электронной оболочке атома не может быть более восьми электронов. А эти-то электроны и ответственны за химическое поведение атомов.

В мире частиц квантовой механике приходится куда труднее. Здесь, видимо, совсем иные закономерности, нежели в мире атомов. Здесь она, как правило, вынуждена не решать проблемы в лоб, а прибегать к обходным маневрам. Один из таких маневров — обращение ее к группам унитарной симметрии.

Да уже и не к одной группе третьего порядка. Совсем недавно, в 1964 году, трое физиков-теоретиков — Гюрши, Паис и Сакита — предложили «дополнить» группу третьего порядка «обыкновенным» спином частиц — тем самым, что приведен у нас в переписи. Группу пришлось расширить — теперь она стала группой унитарной симметрии шестого порядка.

Одно время высказывались опасения, что эта группа не пролезет в физический «рай» сквозь те узенькие врата, о которых мы уже упоминали в главе, посвященной позитрону. Эти врата — требование релятивистской инвариантности. Не думайте, что те математические постройки, которые сегодня возводят физики, автоматически застрахованы от неудачи! Нет — на каждом шагу их нужно проверять. И только буквально несколько месяцев назад ученые облегченно вздохнули: удалось доказать, что эта группа проходит сквозь врата инвариантности.

Порядок выше — группа многочисленнее. Группа шестого порядка включает уже 35 мезонов и 56 барионов. Ряд предсказываемых ею частиц еще не открыт, но за ними сейчас ведется энергичная охота. Возрастание порядка группы — это, если можно так выразиться, больший порядок в мыслях и представлениях физиков о мире сверхмалых частиц.

Изотопический и «обычный» спины, унитарная симметрия — и в итоге почти что сотня частиц. Из какого же семени разросся этот многоцветный букет частиц? Есть ли среди них основные, фундаментальные частицы, частицы-производители, родившие все остальные в результате тонкой и сложной игры сильных, электромагнитных, слабых и гравитационных взаимодействий?

Примерно десять лет назад японский физик Саката высказал мысль: такие фундаментальные частицы есть. И назвал их: протон, нейтрон и ламбда-гиперон. Они по многим причинам подходили на эту роль. И особенно, казалось, эта мысль и этот выбор исходных частиц подтверждаются с открытием и изучением слабых взаимодействий в последующие годы.

Но вот незадача: из этой тройки частиц должны были возникать группы, состоящие из 6 и 15 частиц. А такие группы на

опыте никак не удавалось обнаружить.

Поэтому физики отложили гипотезу Сакаты, тем более что потом ее заслонили группы из восьмерок и десятки частиц. Но история повторяется.

В последнее время снова большое место в мыслях физиков заняла гипотеза о фундаментальных частицах — трех китах, на которых стоит микромир. Но это уже не те частицы, которые предлагал Саката. Среди известных частиц этих нет.

Авторы новой гипотезы Гелл-Манн и Цвейг называют эти частицы по-разному: один — «кварками», другой — «тузами». Ну, вот, теперь в пасьянсе появляются и тузы, «карточная колода» частиц, кажется, приобретает законченный вид.

«Тузы» воистину удивительны — не массой, не спином, а другими признаками. Оказывается, такие величины, как барионный заряд и странность, для них должны быть дробными! Что ж, может сказать читатель, этому дивиться бы не стоило: обе упомянутые величины введены физиками чисто условно, за ними нет наглядного физического смысла.

Ладно, допустим, что читателя не удивит вытекающее отсюда и из закона сохранения барионного заряда, скажем, такое положение: «в каждом взаимодействии должна сохраняться треть туза!» Но можно надеяться, что у него все же вызовет изумление такое свойство «туза»: его электрический заряд тоже должен быть дробным, составляя $^2/_3$ или $^1/_3$ от заряда электрона.

Можно полагать, что читатель, почерпнувший из всех учебников твердую уверенность в том, что электронный заряд есть самый маленький заряд на свете, уже более не дробимый, будет все же заинтригован. Может быть, он даже скажет, как некий посетитель зоопарка, впервые в жизни увидевший жирафа: «Быть такого не может!»

Во всяком случае, «тузов» еще никто не обнаружил. Возможно, из-за предсказываемой немалой их массы: они должны быть не менее чем в 6000 раз массивнее электрона. А самые тяжелые из найденных пока что «резонансных» частиц по массе только еще подбираются к 4000 электронным.

Все может быть. Но, может быть, окажутся правы и те из сегодняшних физиков, которые, сжав в тисках голову, сидят в своих кабинетах и бормочут наподобие сумасшедшего Германа из пушкинской «Пиковой дамы»: «Тройка, восьмерка, туз, тройка, восьмерка, туз!»

Самые глубокие глубины

Вот так и сняла современная физика вопрос об «элементарности» частиц микромира. И в последние годы ученые вообще избегают пользоваться в применении к частицам словом «элементарный».

Стало совершенно неоспоримым, что все частицы имеют некую внутреннюю структуру. Но ее не понимают так, будто бы частицы сами состоят из каких-то еще меньших субчастиц.

Нет, структура частиц — нечто зыбкое, текучее, постоянно меняющееся, то, что определяется всеми взаимодействиями, в которых участвует частица, всеми распадами, которые она может претерпеть, всеми частицами, которые она может породить.

И обратно, все взаимодействия, распады и рождения определяются структурой самих частиц. Оторвать одно от другого невозможно.

В самом деле, частиц без взаимодействий не существует, взаимодействий без частиц — тоже. Нельзя в атомном мире запереться на замок и не отвечать на звонки, стать невидимым и неслышимым. Одиночество в этом мире — вещь совершенно немыслимая.

Каким же зондом можно влезть в частицу, чтобы прощупать ее нутро? Каким лучиком осветить ее, чтобы увидеть ее структуру? Увы, мы знаем, что это невозможно. Внутрь частиц заглянуть нельзя. «Частицы абсолютно безнадежно невидимы», — печально молвил как-то американский физик Роберт Хофстадтер.

И он же предпринял замечательные опыты, которые позволили физикам глубоко заглянуть в недра протона и нейтрона! Но, конечно, заглянуть не в буквальном смысле. Хофстадтер сумел обойти препятствие, воздвигнутое на его пути соотношениями неопределенности Гейзенберга.

Впрочем, Хофстадтера натолкнул на идею давно уже покойный Эрнест Резерфорд. Теми самыми опытами, какими Резерфорд убедился в существовании атомного ядра.

Помните? Он посылал на атом целую стаю альфа-частиц и наблюдал, как они разлетались в разные стороны после прохождения сквозь атом. Что творилось при этом в самом атоме, Резерфорд не знал. Но он зато узнал, что положительный заряд в атоме не размазан, а весь сосредоточен как бы в крошечном шарике — в ядре. Узнав, как распределен заряд в атоме, Резерфорд выяснил его структуру.

Подобный опыт решил поставить и Хофстадтер — но уже не на атоме, а на протоне. Альфа-частицы для такого опыта не годились. Никто же не полезет в желудок зондом размерами со всего пациента!

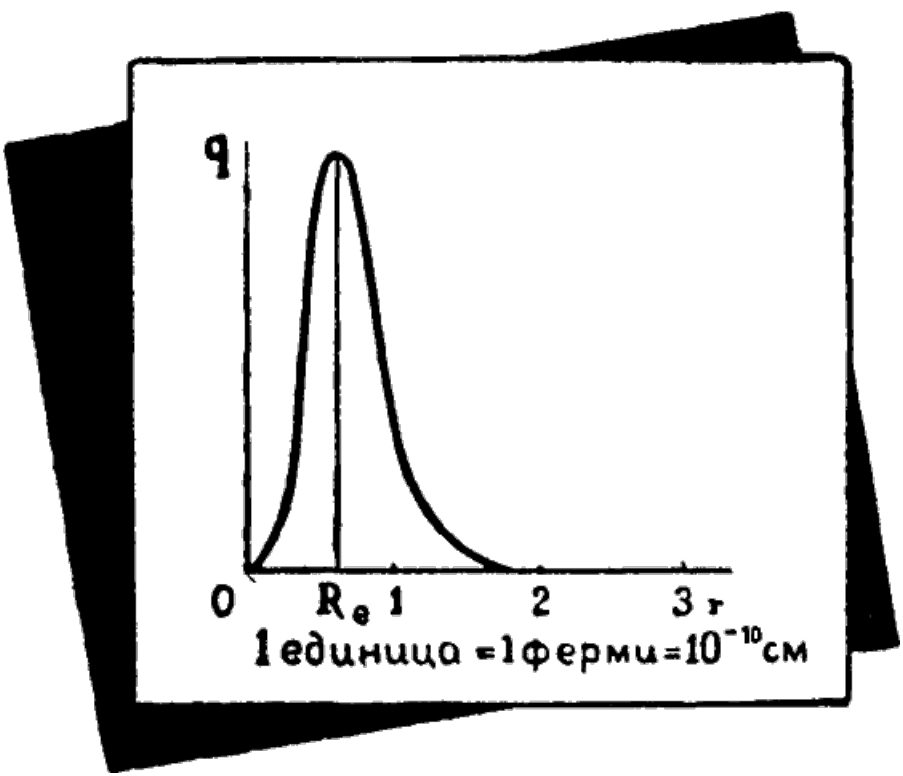
Нужна была частица по крайней мере такая же «простейшая», как протон. Пощупать предстояло распределение электрического заряда в протоне. Значит, частица должна была быть заряженной. И притом заряженной так, чтобы протон не отпихивал зонда, как это часто делают неразумные пациенты.

Наконец, надо было, чтобы частица имела неядерную природу. Иначе при ее встрече с протоном рождались бы мезоны и гипероны. А требовалось, чтобы пациент при обследовании вел себя спокойно.

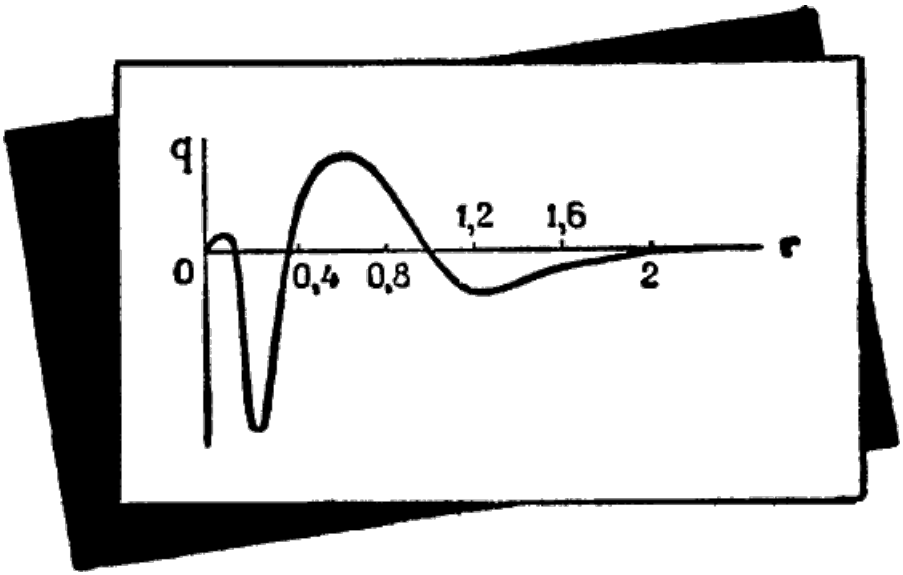
Что ж, природа предоставила в распоряжение ученого удачные зонды, и в любом потребном количестве. Это электроны.

Чтобы они могли выполнить свое назначение, их все же надо было загонять в тело пациента силой. Мы помним, что пациенты — протоны в атомах водорода — окружены отталкивающей наш зонд электронной же одеждой. Хофстадтер выбрал линейный ускоритель электронов того типа, который некогда соорудил швейцарец Видероэ, сначала на энергию 550 миллионов, а затем на 2 миллиарда электрон-вольт.

И вот получены первые результаты обследования пациента. Мы их нарисовали на графиках. Левый график отражает распределение электрического заряда в протоне, правый — в нейтроне.



Распределение электрического заряда в протоне.



Распределение электрического заряда в нейтроне. Видно, что оно гораздо сложнее, чем в протоне, образуя как положительно, так и отрицательно заряженные области.

Да, да, в нейтральном нейтроне полным-полно электричества! Впрочем, физикам это давно было не в диковинку. Уже много лет было известно, что, несмотря на отсутствие видимого электрического заряда, нейтрон сильно магнитен — сила его магнитика составляет более двух третей силы протонного магнитика. И направлением этого магнитика нейтрон как раз отличается от антинейтрона.

Из этого было сделано заключение, что в нейтроне есть электрические заряды, но компенсирующие друг друга. Примерно так, как в атоме. Атом тоже в целом нейтрален, а между тем в нем живут и «плюсовые» ядра и «минусовые» электроны.

Начнем с левой карты обследования. Вся кривая идет выше нуля. Значит, в протоне весь заряд положительный. Он довольно резко обрывается примерно при 2 ферми[3]. Поэтому можно считать, что на расстоянии 2 ферми от центра пролегает довольно отчетливая граница протона.

Из правой карты для нейтрона видно, что у него распределение заряда гораздо сложнее. В самом центре располагается крошечная область положительного заряда, затем идет узенькая область отрицательного, потом опять положительного и, наконец, у наружного края снова

отрицательная область, причем заряд в ней уменьшается гораздо более плавно, чем у протона. Граница же нейтрона пролегает при тех же 2 ферми.

Первый вопрос: а из чего, собственно, состоят эти заряды? Носителя положительного заряда меньше позитрона, а отрицательного — меньше электрона физика пока не знает. Да если бы и знала (помните «тузы»?), то это не помогло бы в данном случае: «тузы» куда массивнее протона и нейтрона! Выходит, в протоне есть позитроны, а в нейтроне еще и электроны? Никоим образом. Зададим встречный вопрос.

Протон обменивается с нейтроном и обратно — нейтрон с протоном — пи-мезонами. А если возле протона нет нейтрона? Выходит, нет обмена? Протон перестанет «выделять» пи-мезоны? Стоит появиться нейтрону, и начнется выделение? Разумеется, нет. Разведка протона все время в боевой готовности. Иначе протон и «не узна́ет» о появлении нейтрона.

Эта боевая готовность заключается в том, что протон все время испускает и поглощает обратно свои же пи-мезоны. Однако поскольку такой процесс виртуален, он должен заканчиваться «молниеносно» — за время порядка 10^{-23} секунды. Мы уже об этом не раз говорили.

Протон может каждый раз испускать и по одному пи-мезону, и целые разведывательные отряды из двух, трех и более пи-мезонов, и вообще даже целые «резонансные» частицы. Лишь чем многочисленнее отряд, чем массивнее он или частица, тем быстрее они должны вернуться обратно, тем более близкие окрестности к центру протона они прощупывают. Одиночные же разведчики пи-мезоны могут уйти, и это мы видим из графика, на расстояние порядка 1–2 ферми.

Вот вам и разгадка внешнего слоя электрического заряда протона. Он состоит из облаков виртуальных положительных пи-мезонов. Протон словно укутан в мезонную «шубу».

Под «шубой» укрылась довольно плотная часть протона. Физики назвали ее керном. Из чего он состоит?

А здесь полезно привести вполне современную поговорку физиков: «Нет такого виртуального, чтобы не стало реальным!» Выбрасывает протон при энергичном столкновении реальные каонезоны и гипероны, значит, виртуально они содержатся в нем. Появляются антипротоны, значит, и они, как это ни трудно вообразить, виртуально живут в их смертельном враге.

Все эти частицы и образуют, видимо, керн протона. Это понятно — масса и энергия покоя у них гораздо больше, чем у пи-мезонов. На виртуальное рождение их протон должен затратить большую энергию. А раз так, тем меньше времени и в тем

меньшем объеме пространства они могут существовать.

«Видимо» же мы сказали потому, что сегодня о керне, в отличие от пи-мезонной «шубы», еще почти ничего не известно.

Мезонная «шуба» нейтрона богаче: она построена как из положительных, так и отрицательных пи-мезонов. Мезоны выполняют двоякие обязанности.

С одной стороны, они несут электрический заряд и осуществляют электромагнитные взаимодействия.

С другой, переносят ядерные взаимодействия.

Значит, электромагнитный и ядерный размеры «шубы» должны совпадать.

На деле же получается, что электромагнитная «вата» далеко вылезла за пределы ядерного «сукна». Долго недоумевали физики, как могла природа сшить такую нескладную «шубу». А потом решили, что «сукно» еще наставлено «меховой» оборкой из двух сортов новых мезонов, гораздо более массивных, чем пи-мезоны.

Это знакомые нам по переписи «резонансы» — нейтральный омега-мезон и «троица» из нейтрального и противоположно заряженных ро-мезонов. (Просьба не путать этот омега-мезон с тем омега-гипероном, о котором была уже речь. Оба они обозначаются одной и той же греческой буквой, но мезон — маленькой, а гиперон — большой. Это видно в нашей «переписи» частиц.)

О керне нейтрона также нет единодушного мнения. Одни считают его в целом заряженным положительно, другие — заряженным отрицательно. Вероятно, в его состав входят пары из нейтрона и антинейтрона, а может быть — и пары из протона и антипротона. Более определенного мнения пока нет.

Вот пока и все, что известно о структуре протона и нейтрона. Мало?

Сравните с «точкой», о которой нечего было сказать еще десять лет назад! «Разъять» протон — это не разнять матрешку, в которой обнаружится еще десяток таких же матрешек мал мала меньше!

Почти частица!

Как-то один из охотников за частицами сделал своим сотрудникам остроумный рождественский подарок. Под праздничной оберткой они обнаружили красиво раскрашенную…

спичечную коробку. На ней была надпись: «Внутри — целая сотня нейтрино». Коробку открыли — она оказалась пустой…

И все же надпись была совершенно правильной. Любой такой объем на Земле, занят ли он воздухом, водой или камнем, содержит примерно сотню нейтрино. Они пронизывают его со скоростью света по всевозможным направлениям, столь же бесперебойно, как бесперебойно светят Солнце и звезды, распадаются радиоактивные ядра и неустойчивые частицы, рожденные космическими лучами в атмосфере. Для нейтрино не существует преград.

Нейтрино не имеют ни барионного, ни обычного электрического заряда, ни массы. Они не испытывают ни ядерных, ни электромагнитных, ни гравитационных взаимодействий. Они чистейшие представители слабых взаимодействий. И столь же всепроникающи, как эти взаимодействия.

Нейтрино движутся со скоростью света, не будучи фотонами.

В раскаленных глубинах звезд, где голые атомные ядра сшибаются в бешеной пляске, рождая новые ядра, где полным ходом идут термоядерные реакции — источник света и тепла от звезд, — рождаются полчища нейтрино. Они вырываются сквозь колоссальные толщи звездного вещества, которое для них куда более прозрачно, чем для собственного звездного света. Вырываются в мировое пространство, чтобы пролететь чудовищные расстояния и исчезнуть за какими-то неведомыми пределами.

Одинокие равнодушные странники, они не дарят миру ни тепла, ни света. Они не отдают холодному межзвездному миру ни капли из той огромной энергии, которую уносят с собой из звезд. А эта энергия действительно огромна: из нашего Солнца нейтрино уносят чуть ли не одну десятую всей излучаемой им энергии. Этой энергии хватило бы, чтобы зажечь сорок тысяч лун на земном небосводе!

А может быть, эта поражающая воображение картина выглядит вовсе не так. Может быть, нейтрино вовсе не такой равнодушный странник, как его сегодня изображают физики. Может быть, но тогда истинная картина, когда она откроется, наверняка поразит наше воображение еще сильнее…

О нейтрино физики догадывались уже тридцать лет назад. Поймать его удалось лишь восемь лет назад, после пятилетней напряженной подготовки охотничьей экспедиции. Изучать по-настоящему нейтрино начали лишь в самые последние годы.

В лице пи-мезонов физики впервые столкнулись с вещественными квантами, имеющими массу покоя. В лице

нейтрино физики впервые встретились с частицей, имеющей вещественный «полуцелый» спин — и никаких других вещественных признаков.

Нейтрино не квант слабых полей: об этом ясно говорит его «полуцелый» спин. Нейтрино не вещественная частица: у него нет массы покоя, и он движется лишь со скоростью света.

Что же такое нейтрино? Сверхфеноменальная частица мира, где феноменальное встречается на каждом шагу? Этот вопрос стал одним из центральных в современной физике.

Крушение закона сохранения четности в слабых взаимодействиях немедленно подорвало веру физиков в то, что нейтрино и антинейтрино одинаковые частицы. Зеркальное изображение нейтрино оказалось не во всем похожим на нейтрино. Оно оказалось воистину зеркальным.

Спин нейтрино, как выяснилось, «смотрит» туда, куда движется частица, а спин антинейтрино — против движения. Антинейтрино, если говорить словами шутливой песенки про кузнечика, летит «коленками назад».

Некоторые физики любят сравнивать нейтрино со штопором. У штопора, как известно, правая нарезка. Момент импульса штопора при его ввинчивании в пробку, — какие серьезные слова для такой веселой операции! — направлен туда же, в пробку, то есть совпадает с направлением движения самого штопора. Это нейтрино.

Левше, понятно, пользоваться таким штопором неудобно. Природа пожалела его и создала «антиштопор» с левой нарезкой. Теперь момент импульса «антиштопора» направлен в руку, хотя сам «антиштопор» по-прежнему уходит в бутылку. Это антинейтрино.

Правая и левая нарезка, или, как говорят физики, «спиральность» — вот то единственное отличие, которое проводят сегодня ученые между нейтрино и антинейтрино. Так — они убеждены — и действует «кривое» зеркало природы. Рейнс и Коуэн в действительности поймали не нейтрино, а антинейтрино!

Это 1957 год. 1962 год приносит новый сюрприз.

Жили-были два нейтрино

Физики уже давно были удивлены тем, почему мю-мезоны, распадаясь на электроны, избавляются от «довеска» массы таким хитроумным способом, как с помощью нейтрино (или

антинейтрино). Слабые взаимодействия, ну и что? Пи-мезоны тоже распадаются слабым взаимодействием. Опять же, что из этого следует? Почему они не могут распадаться, скажем, электромагнитным взаимодействием?

В частности, почему бы мю-мезоны не могли распадаться, скажем, так. Мю-плюс — на два позитрона и один электрон; или мю-минус — на два электрона и один позитрон; или, наконец, мю-мезон — на электрон (позитрон) и фотон? Ни один из известных законов сохранения — даже такой «надуманный», как для лептонного заряда, — этого не запрещает. А между тем указанные распады никогда не наблюдались.

Значит, заключили физики, коварная природа придумала еще один запрет. И, как всегда в подобных случаях, «сочинили» новый заряд и новый закон его сохранения. На сей раз — мюонный заряд, уже специально для одной-единственной частицы. На что только не пойдешь, чтобы объяснить необъяснимое!

Ладно. Заряд так заряд. Понятно, что электрон этого заряда лишен. Позитрон тоже. И фотон вместе с ними. Тогда действительно мю-мезон никак не может распасться на тройку своих «младших братьев» или дать жизнь таким «братьям» с большим фотонным наследством.

Как водится, приписали мю-плюсу мюонный заряд +1, мю-минусу приписали –1. И оглянулись по сторонам — кому бы еще присвоить такой заряд. Желающих не оказалось. От такого, с позволения сказать, знака отличия отвернулся даже близкий сосед мю-мезона — пи-мезон.

С этого все и началось. Распался пи-плюс на мю-плюс и нейтрино. Стали считать мюонные заряды. Слева — нуль, справа +1. И нейтрино потребовалось приписать –1, чтобы все было в порядке (справа и слева по нулю).

А затем обратились ко второму распаду: мю-мезона на электрон и нейтрино. У мю-мезона спин — половинка, значит, и у его наследников в сумме должно быть то же. У электрона и у нейтрино — тоже по половинке. Как ни складывай две половинки, одной из них не получишь. Пришлось, как мы уже рассказывали, к ним в компанию добавить еще антинейтрино. Теперь все стало на место.

Стало? А ну-ка, сопоставим мюонные заряды. Слева +1 или –1, смотря по тому, мю-плюс или мю-минус распался. А справа? Электрон мюонного заряда лишен, а нейтрино и антинейтрино, хоть и имеют его, но гасят друг у друга: они же античастицы. Не удается мю-мезону передать свой «особый» заряд наследникам! Подвела арифметика?

«Нет, арифметика правильна», — заключил советский физик

Моисей Александрович Марков.

Просто те нейтрино, что появляются вместе с мю-мезоном при распаде пи-мезона и вместе с электроном при распаде мю-мезона, — эти нейтрино разные! Просто? Ох, какой не простой вывод были вынуждены сделать физики!

Тогда так: «мюонное» нейтрино имеет тот же мюонный заряд, что и его партнер мю-мезон (то есть ± 1), а «электронное», — что и электрон (0). Первое обозначим «своей» буквой ν, но со значком μ. Вот так: ν_μ. А второе — ν_e. И назовем: ν_μ — нейтрино 2 и ν_e — нейтрино 1. Под такими обозначениями они и выступают в нашей таблице переписи сверхмалых частиц.

В результате можно свести концы с концами. Пи-мезон распадается так:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \text{ или } \pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu^-$$

(черточка над буквой обозначает античастицу, в данном случае — антинейтрино). А мю-мезон распадается уже на «смесь» нейтрино:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu^- \text{ или } \mu^- \rightarrow e^- + \nu_e^- + \nu_\mu.$$

Честь спасена, но каким, казалось бы, неуклюжим маневром! «Не торопитесь наклеивать ярлыки, — такой ответ получили скептики, — давайте сначала проверим. Отказаться от ошибки никогда не поздно».

Проверка была произведена летом 1962 года. Сильному пучку пи-мезонов была предоставлена возможность распадаться на мю-мезоны, а тем — на нейтрино. После этого нейтрино, невидимые и неуловимые, начали свободный поиск жертв в среде протонов и нейтронов, наподобие того, что было в опыте Рейнса и Коуэна. Если бы «мюонное» и «электронное» нейтрино были одинаковыми, то при столкновении их с протонами и нейтронами должны были бы «обратно» рождаться как электроны, так и мю-мезоны.

События, что ни говори, редкие. Потому и опыт шел многие недели. Уже обработаны тысячи фотопленок. И физики убеждаются, что рождаются только мю-мезоны! Электронов нет и в помине!

«Ну, что — неуклюжий маневр?» — было заявлено еще раз посрамленным скептикам. «Да мы-то что! — отмахнулись слабо скептики. — Вы лучше смотрите, какие занятные выводы следуют из существования двух нейтрино!» И пророки и скептики как ни в чем не бывало сдвинули головы в тесный круг. И увлекательнейшая охота продолжилась.

А тем временем нейтрино заинтересовались охотники за «сверхбольшим», исследователи бескрайних звездных миров — астрофизики.

Спасибо фотонам: они уже о многом поведали, путешествуя по просторам Вселенной. Астрономы узнали о далеких звездных мирах в недрах гигантских туманностей, увидели сталкивающиеся галактики, взрывающиеся звезды, чудовищные облака космической пыли и газов. Луч света помог проникнуть в недра звезд, нащупать в них величайший в природе источник света и тепла — термоядерные реакции. Спасибо фотону — славно он поработал!

Такие слова, правда, чаще говорят, провожая на пенсию какого-нибудь заслуженного деятеля. Фотон еще во цвете лет, до пенсии ему еще работать и работать! Но работать все труднее: все большие требования предъявляют к нему ученые.

А фотон уже со всеми требованиями не справляется. Задают ему вопрос: расскажи, что творится в самых глубоких недрах звезды? А он: не знаю, не был; я, собственно, побывал лишь ближе к краю. А из центра звезды мне бы и не выбраться: слишком тяжелый путь, слишком много на нем препятствий, чудовищно плотно сжато там вещество.

Ученые не отстают: расскажи тогда, какие они — антимиры, где они, что ты там видел? А фотон: не знаю, не видел, для меня все миры одинаковы, что ваш, что какой другой! И он прав: что в мире, что в антимире — фотоны одинаковы. У них ведь нет отличающихся античастиц.

Идет уже сегодня к фотону помощник. Юркий, неуловимый, через любые препятствия проникнет — нейтрино. Тучами рождаются нейтрино и антинейтрино в глубочайших недрах звезд, без труда вырываются оттуда в межзвездное пространство. Они и должны поведать нам о своем родном доме.

Миры шлют во все стороны густые стаи нейтрино. А антимиры — не менее обильные косяки антинейтрино. Но эти частицы уже различаются. Они и поведают нам, где и какие есть антимиры, как там позитроны крутятся вокруг ядер, составленных из антипротонов и антинейтронов, как там антиатомы и антимолекулы собираются в антиживотных и, может быть, даже антилюдей.

Нейтрино становится зондом Вселенной! Так, согласно старинной поговорке, сходятся сверхвеликое и сверхмалое!

Звездное богатство

И еще об одном из чудес Вселенной может поведать нейтрино — о нейтронных звездах, о пятом состоянии вещества, как его назвал Лев Давидович Ландау.

Но расскажем об этом по порядку. В конце тридцатых годов крупный немецкий физик Ганс Бете заинтересовался стариннейшим вопросом. Уже много тысяч лет младенцы всего мира задают своим родителям один и тот же «младенчески невинный» вопрос: «А почему светит Солнце?»

— Там геенна огненная, там черти поджаривают грешников! — шепчет и богобоязненно крестится какая-нибудь темная бабушка.

— А на чем там черти жарят, бабушка? На дровах или на угле?

— На дровах, на дровах, внучек!

— А давно там черти жарят, бабушка?

— Давно, давно, и нас с тобой еще не было!

— И как только у них там дров хватает!

Бабушка предусмотрительно не отвечает. Даже лучших, отборнейших дров для такого гигантского котла, как Солнце, хватило бы лишь на сотни лет. Лучшего угля, лучшего на свете горючего — на тысячи лет.

А Солнце светит себе миллиарды лет и не думает гаснуть! Бог с ней, с этой бабушкой, — крупнейшие ученые прошлых веков ломали головы над «детским» вопросом и ничего разумного не могли придумать. В лучшем случае, по их расчетам, Солнце должно было погаснуть спустя миллионы лет после того, как загорелось.

Бете сопоставляет: измерения солнечного спектра показывают, что там в изобилии присутствует водород и довольно редкий на Земле газ — гелий. Бете — физик-ядерщик, он мыслит понятиями своей науки. Значит, на Солнце подавляющее большинство всех ядер составляют протоны и альфа-частицы.

Какая связь между ними? Видимо, альфа-частицы могли бы образоваться из протонов при наличии нейтронов. Но, если для этого требуется внушительная энергия, природа на это не пойдет.

Ведь Солнце не получает энергии извне.

Бете делает расчет. Результат ошеломляет его. «Монтаж» альфа-частицы не только не требует энергии — он сам щедро отдает ее! Ну, а теперь прикинем, зная массу Солнца и сколько оно отдает энергии в виде света и тепла, надолго ли хватит энергии, выделяющейся при «монтаже» альфа-частиц?

Ответ вполне утешительный: на многие и многие миллиарды лет! Солнце не выбрало из своей кладовой пока что и половины протонов. Светит и греет нас оно по меньшей мере уже добрых пять миллиардов лет. И столько же будет, если не больше.

Так открывается первая термоядерная реакция — источник столь расточительного и вместе с тем долгого звездного существования. Затем открываются другие возможные термоядерные реакции. Но какие из них идут в звездах на самом деле, никто еще сегодня не знает.

Известно только одно. Чтобы пошли такие реакции, в недрах звезд должны быть чудовищные температуры — минимум десятки миллионов градусов! Вещество при таких температурах находится в «четвертом», плазменном состоянии. Нейтроны в свободном виде при таких температурах, как на Солнце, видимо, не живут. Когда сталкиваются два протона, они образуют ядро тяжелого водорода — дейтрон — без участия нейтрона.

В тот ничтожный миг, когда протоны вступили в зону действия ядерных сил, один из них исчезает, превращаясь в нейтрон. Выбрасываются прочь позитрон и нейтрино, и протон уже тесно сцепился со своим «обращенным» собратом в новое ядро.

Куда же девались электронные оболочки протонов, которые когда-то, пока звезда не вспыхнула, мирно окружали свои ядра? Видимо, в звезде вместе с полчищами протонов существуют и не менее густые полчища электронов. Но атомов из них уже не выйдет: слишком высока температура.

Пятое состояние вещества

Примерно в те же годы, когда Бете раскрыл секрет источника существования звезд, Ландау попытался ответить на им же поставленный «детский» вопрос: а нельзя ли электрон силой вогнать в протон и получить нейтрон? Можно, ответил он немного спустя, но для этого нужна огромная энергия — 800 тысяч электрон-вольт на пару частиц.

Ну, какая же это огромная энергия? Сегодняшние ускорители дают уже десятки миллиардов электрон-вольт! Верно. Но Ландау перевел подсчет на масштабы целой звезды. А вещества в ней, как ни говори, «немножко» больше, чем в жиденьком пучке частиц, крутящемся в камере ускорителя. Вот так и выходило, что в звездах как будто бы электроны в протоны не загоняются. Не хватает температуры: для этого нужны многие миллиарды градусов. А в звездах, видимо, речь идет лишь о десятках миллионов.

Но есть одна вещь, от температуры как бы не зависящая, — это влияние на электронный «газ» плотности звездного вещества. Оказывается, энергию и температуру этого «газа» можно повысить одним лишь сжатием. Чем-то это напоминает нагрев воздуха в велосипедном насосе при накачивании шины.

На самом деле причина здесь другая. Ее уместнее сравнить с поведением толпы, которую вдруг начало сжимать неумолимое оцепление. Пытаясь уйти от давки, люди начинают карабкаться на фонарные столбы, на лестницы домов. Скоро и там становится тесно, — люди перебираются на крыши домов, все выше и выше.

Так ведут себя и электроны при сильном сжатии: они все выше и выше поднимаются по ступенькам энергетической лестницы. И, наконец, передовые из них достигают крыши — тех самых 800 тысяч электрон-вольт. Это начинается, когда плотность звездного вещества достигает примерно миллиона тонн в кубическом сантиметре.

Выше этой плотности почти все звездное вещество должно превратиться в нейтроны. Возникает новое, «пятое» состояние вещества — нейтронное. Предположительно его плотность должна составлять сотни миллионов тонн в кубическом сантиметре — плотность атомного ядра, невообразимо увеличенного в своих размерах!

Немыслимо, чтобы такая плотность могла где-либо быть в природе! Нет, мыслимо! А белые карлики? Удивительнейшие обитатели звездного мира, страшно маленькие и светящиеся с неистовой яркостью! Астрономы уже давно подсчитали, что их размеры составляют лишь считанные километры, а плотность может достигать десятков тысяч тонн в кубическом сантиметре.

Что ж, в недрах таких карликов вполне может существовать нейтронная сердцевина. И очень любопытно, что, образовавшись, эта сердцевина словно «захлопывает» звезду.

Сердцевина очень плотна, занимает малый объем, и остальное вещество звезды, притягиваясь ею, должно быстро упасть на центр звезды. Звезда резко сожмется, выделится чудовищная энергия. Уж не так ли вспыхивают время от времени

звезды?

Одна такая звезда, которую сейчас астрономы видят в знаменитой Крабовидной туманности, девятьсот лет назад вспыхнула так ярко, что даже днем ее было видно невооруженным глазом, а ночью ее блеск затмевал свет Луны! Это не выдумка: о замечательной звезде писали в один голос многие летописцы того времени.

Было высказано предположение, что эта звезда — нейтронная. Правда, оно как будто не подтвердилось.

Когда же родится нейтринная астрономия, когда она научится не только улавливать мощные потоки нейтрино, но и измерять их энергию, тогда можно будет поставить решающий опыт. Вспыхнет где-нибудь сверхъяркая звезда — и немедленно к ней потянутся щупальца обычных и нейтринных телескопов. Ведь при переходе вещества в нейтронное состояние образуется целая туча нейтрино.

И полетят нейтрино вместе с фотонами, прибудут на Землю в один и тот же день, в один и тот же час, и скажут приборы: поток фотонов и нейтрино вон из того кусочка неба возрос одинаково. И ответ на это может быть только один: перешло звездное вещество в «пятое» состояние.

Рождение мира

А вот еще одна великая загадка. Правда, она мучает ученых не века, а всего лишь сорок лет.

Сорок лет назад американский астроном Хаббл, обработав свои наблюдения спектров далеких галактик, пришел к поразительному выводу: галактики разбегаются друг от друга. Видимая Вселенная расширяется!

И что самое замечательное — расширяется неравномерно. Более далекие галактики убегают друг от друга чуть ли не с околосветовыми скоростями, а более близкие — гораздо медленнее.

Но свет от далеких галактик идет к нам дольше, чем от близких. Поэтому далекие галактики мы сегодня видим с бóльшим запозданием.

Так выходит, что в небе мы видим всю историю видимой Вселенной. От самых далеких галактик, еще наблюдаемых в современные телескопы, свет идет чуть ли не пять миллиардов лет. Это и значит, что мы видим эти звездные миры такими,

какими они были пять миллиардов лет назад.

И оказывается, пять миллиардов лет назад галактики разлетались друг от друга с гигантскими скоростями. А чем позже, тем скорость их разбегания становилась меньше. Создается впечатление, что примерно с десяток миллиардов лет назад произошел какой-то сверхфантастической силы взрыв, который разбросал по небу осколки в виде наблюдаемых звездных миров!

Замечательная теория Эйнштейна (называемая в отличие от той, с которой мы до сих пор имели дело, — общей теорией относительности) с теми уточнениями, которые внес в нее советский ученый Александр Александрович Фридман, предвидит такую возможность как расширение Вселенной. Более того, она говорит, что Вселенная может перестать расширяться, начнет сжиматься до какой-то небольшой области, потом сжатие снова сменится расширением. Вселенная может словно пульсировать, причем период пульсации — многие миллиарды лет!

Но какие причины могут вызвать пульсации — это за пределами возможностей теории Эйнштейна. А причины должны быть исключительно важными. В чем искать их?

Не иначе, как на «уровне» того, из чего в конечном счете состоит вся огромная Вселенная — сверхмалых частиц. Давайте допустим на момент, что некогда все вещество Вселенной занимало сравнительно небольшой объем.

Плотность его в этом объеме должна была быть колоссальной — наверное, далеко за пределами миллиардов тонн в кубическом сантиметре. Настоящее «пятое», нейтронное состояние вещества!

А может быть, даже и еще более плотное — «шестое», гиперонное состояние, когда все вещество состоит из одних лишь массивных гиперонов!

Сколько могло длиться такое состояние, никому не известно. Не понятны и причины, которые могли вывести вещество из этого состояния. Но так или иначе, выход мог совершиться и, допустим, совершился. Нейтроны довольно быстро распались на протоны и электроны. Колоссальная энергия, запасенная в сжатом, словно пружина, веществе, освободилась и разбросала эти частицы почти со световой скоростью по пространству.

Протоны и электроны образовали менее «спрессованные», чем нейтроны, комбинации — атомы водорода. Эти атомы объединились в молекулы и даже, возможно, в целые глыбы водорода. Разлетаясь, сталкиваясь, слипаясь, разогреваясь, глыбы в конце концов образовали звезды и целые звездные миры, украшающие наше небо.

Эту гипотезу высказал советский физик Яков Борисович Зельдович. Увлекательнейшая гипотеза! Пусть не все в ней

гладко. Пусть глыбы получаются по расчету слишком маленькими, чтобы можно было понять их дальнейшую судьбу. Сделан первый шаг к разгадке самой великой тайны природы!

И, может быть, мы с вами еще будем свидетелями того, как эта гипотеза — да, пока еще лишь более или менее правдоподобная гипотеза, — как она обрастет плотью точного расчета, как в ней заструится свежая кровь опытных наблюдений, как она превратится в стройную и могучую теорию происхождения сверхвеликого — Вселенной из сверхмалого — из частиц!

Заключение

Наш рассказ подходит к концу. Мы покидаем охотников за частицами в самый разгар охоты. Этой труднейшей из охот, где невидимыми пулями стреляют по невидимым целям. Где хитроумными сетями пытаются поймать неуловимое. Где тысячетонные орудия ускорителей бьют по пустоте почти невесомыми снарядами. Где фотографируют в кромешном тумане быстроногие следы самых крошечных существ, которые только создала природа.

Мы покидаем рабочие кабинеты теоретиков, где в пылу ожесточенных споров рождается истина.

Медленно, тяжело появляется она на свет.

Сорок лет отдал Эйнштейн, чтобы привести в единую стройную систему все известные виды взаимодействия. Сорок лет пытался Эйнштейн создать единую теорию всех полей и частиц. И эта попытка ему не удалась. Цель оказалась столь же гигантской, сколь недоступной — даже самый выдающийся ум современной физики не осилил ее.

В последующие годы такие попытки предпринимались и другими учеными. С каждым годом множились эти попытки. Сколько раз казалось, что цель почти достигнута. Но открытие новых частиц, обнаружение новых свойств у известных уже частиц — и высоко вознесшиеся теории падали вниз.

Совсем недавно казалось, что ближе всех к заветной цели подошла новая теория Гейзенберга. Но и эти надежды не оправдались.

При обсуждении одного из вариантов теории Гейзенберга, принадлежащего Паули, старый Нильс Бор сказал следующие знаменитые слова: «Мы все согласны с тем, что ваша теория сумасшедшая. Вопрос, который нас разделяет, заключается в том, достаточно ли она сумасшедшая, чтобы иметь вероятность быть правильной».

Как понять эти удивительные слова? Они ведь принадлежат не новичку, захлебнувшемуся в океане новых физических представлений, а одному из отцов современной физики!

А понять надо так. Любое действительно революционное физическое — и не только физическое — представление всегда в первое время попахивает сумасшедшинкой. Всегда находятся люди, которые ставят под сомнение, нормален ли психически его автор.

Настолько резко и бесповоротно порывает новое представление с остальными, складывавшимися веками и

десятилетиями.

Такими революционными представлениями были идеи Ломоносова о существовании молекул, идеи Эйнштейна о зависимости пространства и времени от движения тел. Такими же «сумасшедшими» казались глубочайшие идеи де-Бройля о волнах материи, идеи Гейзенберга о виртуальных процессах.

Все это были шаги на пути к великой цели — единой теории вещества и поля. И следующие — нет, никогда не последние! — шаги должны быть не менее революционными, не менее «сумасшедшими».

Только так добывается великая истина. Та самая истина, за обладание которой шли на неслыханные жертвы лучшие представители рода человеческого. Когда-то их сжигали на кострах под рев озверевшей толпы. Потом душили ледяным презрением, равнодушным непониманием.

Что им было от этой истины? Тепло? Сытно? Мягко? Нет, ни того, ни другого, ни третьего. С таким трудом добытая истина нередко тут же, как нежная раковина, захлопывала свои створки.

Случалось, обманчивая истина прахом рассыпалась в руках. Глухие тупики в конце ложных дорог подводили итог неудачно прожитым жизням.

И все же эти люди шли вперед. С каждым веком, с каждым десятилетием их становилось все больше. Их влекло вперед такое на вид хрупкое и такое в существе своем необоримое чувство. Самое лучшее из всех человеческих чувств — любознательность.

Вековечна схватка природы с ее же порождением — человеком. Маленькими кусочками и большими глыбами, сотнями лет и в считанные дни человечество рушит преграды, поставленные природой на пути к его беспредельному могуществу, на пути ко все большей его независимости от природы. И передовым отрядом, штурмующим эти преграды, являются ученые.

Они не думают о таких высоких вещах, как могущество человека. Они не трезвонят на всех углах, что их работа направлена на благосостояние человечества.

А между тем именно благодаря их работе приходят теплота, сытость и удобства в жизнь людей. Именно благодаря этой работе человек сбросил звериную шкуру и стал тем, что он есть сегодня.

От гигантской работы, которую ведут ученые в мире частиц, до недавних пор человечество не получило ни капли тепла, ни лучика света. Сегодня мы уже видим первые зримые плоды этой работы.

Наши дома уже заливает свет и тепло атомных электростанций. По морям ходят атомные корабли. Изотопы

лечат человека, облегчают его труд, ищут полезные ископаемые. Электроны и фотоны связывают людей потоками слышимых и видимых сообщений.

А что ждет нас завтра? Человечество вырвалось в космос. И его путеводителями будут невидимые и неслышимые потоки частиц, пронизывающие безграничное космическое пространство.

Может быть, эти потоки частиц когда-нибудь сами станут самым быстрым транспортом в истории человечества. Вырываясь из днища фотонных ракет, они унесут людей к далеким и прежде таким недосягаемым звездным мирам.

Искусственные солнца зальют Землю на круглый год потоками света и тепла.

Может быть, облучение пока неизвестными частицами и квантами стократно умножит физическую и умственную мощь человека.

Всего можно ожидать от такой замечательной науки, как физика частиц.

У этой науки — богатое прошлое. У этой науки — неизмеримо более богатое будущее.

Оглавление

Глава 1. Вторжение в атом … 4
Глава 2. Град из космоса … 41
Глава 3. Кентавры атомного мира … 70
Глава 4. Частица, выпрыгнувшая из зеркала … 98
Глава 5. Открытие невидимки … 115
Глава 6. Возвращение в космос … 136
Глава 7. Нашествие частиц … 156
Глава 8. Пророчества сбываются … 190
Глава 9. Величие сверхмалого … 207
Заключение … 268

notes

Примечания

1

Сольвеевские конгрессы — международные съезды физиков в годы перед второй мировой войной, проводившиеся на средства любителя науки бельгийского фабриканта Анри Сольвея.

2

Возрастание ионизации в конце пути полета заряженных частиц связано с потерей ими энергии, а значит, и скорости. В результате частица пролетает мимо каждого встречного атома медленнее, и у нее больше времени на то, чтобы оторвать от него кусок «электронной шкуры».

З

Ферми — ядерная единица длины, названная в честь Энрико Ферми. Она равна 10^{-13} (одной десятитриллионной доле) сантиметра.